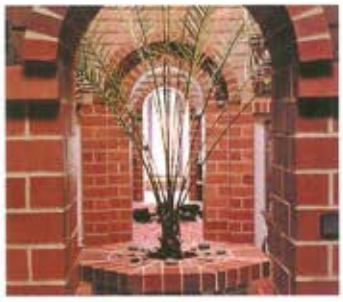
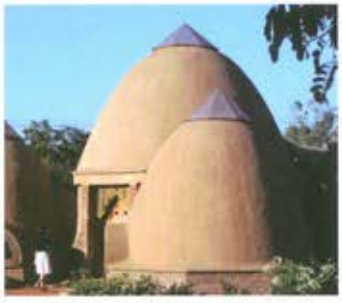
Gernot Minke





Construind cu PĂMÂNT

Proiectare și tehnologii pentru o arhitectură durabilă

SIMETRIA

Gernot Minke

Construind cu pământ

Proiectare și tehnologii pentru o arhitectură durabilă

SIMETRIA

Prefață 7

I Tehnologia construcțiilor din pământ

1. Introducere 11
Scurt istoric 11
Pământul ca material de construcție: puncte esențiale 13
Îmbunătățirea climatului interior 15
Prejudecăți privind pământul ca material de construcție 18

2. Proprietățile pământului ca material de construcție 19
Compoziție 19
Teste folosite pentru analiza compoziției lutului 21
Efectele apei 24
Efectele vaporilor 29
Influența căldurii 31
Rezistența 32
Valoarea pH-ului 35
Radioactivitatea 35
Protejarea de radiațiile undelor electromagnetice cu frecvență înaltă 35

3. Pregătirea lutului 36
Uscarea, concasarea și amestecarea 36
Cernerea 38
Prepararea noroiului 38
Conservarea apei 38
Subțierea 38

4. Îmbunătățirea caracteristicilor pământului prin tratare specială sau cu aditivi 39
Reducerea crăpăturilor provocate de contracție 39
Stabilizarea împotriva eroziunii apei 40
Creșterea forței de legătură 42
Creșterea rezistenței la compresie 43
Rezistența la abraziune 47
Creșterea rezistenței termice 47

5. Lucrări din pământ bătătorit 52
Cofraje 53
Unelte 54
Metoda de construcție 55
Realizarea golurilor 55
Noi tehnici de construire a pereților 56
Cupole din pământ bătătorit 57
Uscarea 59
Mâna de lucru necesară 59
Izolare termică 60
Tratarea suprafețelor 60

6. Lucrul cu blocurile de pământ 61
Scurt istoric 61
Producerea blocurilor de pământ 62
Compoziția materialului 65
Așezarea blocurilor de pământ 65
Tratarea suprafețelor 66
Fixarea ranforsărilor în pereți 67
Blocuri de lut ușoare 67
Cărămizi nearse cu acustică specială 67

7. Blocuri mari și panouri prefabricate 69
Blocurile mari 69
Panouri din pereți prefabricați 70
Planșee 70
Dale de pardoseală 71
Dale din lut extrudat 71

8. Modelare directă cu lut umed 72
Tehnici tradiționale cu lut umed 72
Tehnica „turte de lut" *Dünner-Lehmbrote* 74
Tehnica „funii de lut" *stranglehm* 74

9. Umplerea structurilor schelet *(Fachwerk)* cu lut umed 80
Lut aruncat 80
Lut stropit 80
Role și sticle de lut din paie 81
Umplutură din lut ușor 82
Umplutură din *stranglehm «funii» și «cordoane»* din pământ 82

10. Lut ușor compactat, turnat sau pompat 83
Cofraje 83
Pereți din lut ușor cu paie 83
Pereți din lut ușor cu lemn 84
Pereți din lut mineral ușor compactat, turnat sau pompat 85
Pardoseli din lut mineral ușor pompat 88
Blocuri cu goluri umplute cu lut 89
Funii umplute cu lut 90

11. Tencuiala din lut 92
Pregătirea suprafeței 92
Compoziția tencuielii de lut 92
Ghid de tencuire a pereților din pământ 94
Tencuială stropită 95
Tencuială din lut mineral ușor 95
Tencuială aruncată 95
Tencuială la pereți din baloți de paie 95
Tencuială umedă 96
Protejarea colțurilor 96

12. Protejarea suprafețelor de lut în vederea rezistenței la intemperii 98
Consolidarea suprafeței 98
Vopsele 98
Suprafețe rezistente la apă 101
Tencuieli pe bază de var 101
Șindrile, scânduri și alte protecții 103
Metode structurale 103

13. Repararea componentelor din lut 104
Degradarea componentelor din lut 104
Repararea fisurilor și a îmbinărilor cu umplutură de lut 104
Repararea fisurilor și a îmbinărilor cu alte umpluturi 105
Repararea degradării pe arii extinse 105
Asigurarea izolării termice cu ajutorul lutului ușor 106

14. Modele de elemente de construcție specifice 107
Îmbinări (Rosturi) 107
Modele specifice de pereți 108
Planșee intermediare 110
Pardoseli din pământ bătătorit 112
Șarpante umplute cu lut ușor 114
Acoperișuri de pământ 114
Arcade și cupole din blocuri de pământ 116
Perete pentru înmagazinare termică în grădinile de iarnă 130
Lutul în baie 130
Mobilă încorporată și obiecte saniitare din lut 131
Sisteme de încălzire a pereților 133
Sistem de încălzire solară pasivă a pereților 134

15. Clădiri rezistente la cutremure 135
Măsuri structurale 136
Deschideri pentru uși și ferestre 140
Pereți din pământ bătătorit consolidate cu bambus 140
Arcade 143
Cupole 144
Pereți textili cu umplutură de lut 146

II Exemple de construcții

Rezidențe
Două case semi-detașate din Kassel, Germania 151
Locuință în Rosdorf, Germania 154
Reședință și birou, Kassel, Germania 156
Reședință, Turku, Finlanda 161
Locuință în Tucson, Arizona, USA 162
Casita Nuaanarpoq în Taos, New Mexico, USA 163
Reședință în Des Montes, New Mexico, USA 164
Reședință, La Paz, Bolivia 166
Fermă, Wazipur, India 167
Reședință, Helensville, Noua Zeelandă 171
Casă pentru trei familii, Stein pe Rhine, Elveția 173

Clădiri Culturale, Educaționale și Sacre
Gradiniță în Sorsum, Germania 174
Centrul de tineret Spandau, Berlin, Germania 177
Școală în Solvig, Jarna, Suedia 178
Institutul Panafrican pentru Dezvoltare, Ouagadougou, Burkina Faso 180
Școală în Rudrapur, Bangladesh 182
Clădire de birouri în Hanovra 184
Clădire de birouri, New Delhi, India 186
Hală multifuncțională în Picada Café, Brazilia 189
Capela Reconcilierii, Berlin, Germania 190
Moschee, Wabern, Germania 192

Perspective de viitor 194
Măsurători 195
Referințe bibliografice 196
Mulțumiri 197
Autorii fotografiilor 197

Prefață

Scrisă ca răspuns la interesul crescut, vizavi de construcțiile din pământ, manifestat în întreaga lume, această carte are ca subiect pământul ca material de construcție, oferind o vedere de ansamblu asupra tuturor aplicațiilor sale, precum și asupra tehnicilor de construcție, incluzând date fizice relevante și explicând, în același timp, calitățile specifice și posibilitățile de optimizare. Fără a fi un tratat teoretic, cartea poate înlocui experiența practică de a fi construit folosind pământul. Datele experimentele și realizările referitoare la construcțiile din pământ prezentate, în acest volum, pot fi folosite ca punct de reper pentru o varietate de procese de construcție și aplicații posibile, de către ingineri, arhitecți, antreprenori, meșteri sau autorități publice care încearcă, din dorință sau din necesitate, să se împace cu cel mai vechi material de construcție folosit de om.

Pământul, ca material de construcție, se găsește în mii de compoziții posibile și poate fi procesat în diverse moduri. Lutul sau solul argilos, așa cum este numit științific, are diverse denumiri atunci când este folosit în felurite aplicații, de exemplu pământ bătătorit, blocuri de pământ, cărămizi de lut sau chirpici.

Cartea de față ilustrează rezultatele experimentelor și cercetărilor efectuate continuu în cadrul Forschungslabor für Experimentelles Bauen (Institutul de Cercetare pentru Construcții experimentale) de la Universitatea Kassel din Germania, începând din 1978. Mai mult, tehnicile specializate propuse de autor și experiența practică obținută de acesta pe parcursul proiectării caselor din pământ, în mai multe țări, și-au găsit, de asemenea, loc în această carte.

Acest volum este bazat pe publicația germană *Das neue Lehmbau-Handbuch* (Ökobuch Verlag, Staufen), apărută prima oară în 1994 și aflată acum la cea de-a șasea ediție. Au mai apărut, de asemenea, o ediție spaniolă și una rusească.
Deși aceasta este, în primul rând, o carte tehnică, în capitolul introductiv cititorului i se oferă o scurtă prezentare a istoriei arhitecturii din pământ. În plus, este descris rolul istoric și rolul pe care îl va avea pe viitor pământul ca material de construcție, prezentându-se toate caracteristicile semnificative ce fac deosebirea dintre pământ și materialele de construcție obișnuite. De asemenea, este explicată în detaliu importanta descoperire recentă, conform căreia pământul poate fi folosit pentru a echilibra temperatura din interior.
Ultimul capitol al cărții merită o atenție specială, deoarece prezintă un număr important de construcții din pământ reprezentative pentru diverse regiuni ale planetei. Aceste construcții demonstrează caracterul versatil al arhitecturii din pământ și diversele întrebuințări ce pot fi atribuite acestui material de construcție, pământul.

Gernot Minke
Kassel, noiembrie 2008

Minareta Moscheii Al-Mihdar din Tarim, Yemen; înaltă de 38 m, construcția este făcută din chirpici obținuți manual.

I Tehnologia construcțiilor din pământ

1 Introducere

1.1

1.1 Depozite, templele lui Ramses II, Gouna, Egipt

În aproape toate regiunile cu climat cald şi arid, dar şi în cele cu climat temperat, pământul a fost dintotdeauna materialul de construcţie predominant. Chiar şi astăzi, o treime din populaţia globului trăieşte în case din pământ; în ţările dezvoltate această cifră se ridică la jumătate. În ţările dezvoltate s-a dovedit imposibil de răspuns la multitudinea de cereri de adăpost folosind materialele de construcţie industriale, cum ar fi cărămida, betonul şi oţelul, sau folosind tehnicile de construcţie industriale. Nici o regiune din lume nu este înzestrată cu o capacitate de producţie sau cu resursele financiare necesare satisfacerii acestei cerinţe. În ţările dezvoltate, cererile de adăposturi pot fi onorate numai prin folosirea materialelor de construcţie locale şi cu sprijinul tehnicilor de construcţii proprii. Pământul este cel mai important material de construcţie natural, care este la îndemână în cele mai multe regiuni. Se obţine adesea direct din cadrul şantierului atunci când se sapă fundaţiile. În ţările industrializate, exploatarea iraţională a resurselor şi capitalul centralizat, combinate cu producerea intensivă de energie nu numai că reprezintă o risipă, ci este şi o sursă de poluare a mediului şi o cauză a creşterii ratei şomajului. În aceste ţări, pământul este folosit din ce în ce mai mult ca material de construcţie.
Adesea, atunci când îşi construiesc casele, oamenii îşi doresc clădiri cu consum redus de energie şi convenabile ca preţ, punând accent pe un climat interior sănătos şi echilibrat. Oamenii încep să realizeze că lutul, ca material de construcţie natural, este superior calitativ materialelor de construcţie industriale, precum betonul, cărămida şi blocurile de piatră calcaroasă. Dezvoltate recent, tehnicile avansate folosite pentru construcţiile din pământ demonstrează valoarea pământului nu numai pentru construcţiile făcute în regie proprie, ci şi pentru construcţiile industrializate realizate de către antreprenori.
Această carte prezintă datele teoretice de bază ale acestui material, oferind indicaţiile necesare, bazate pe cercetarea ştiinţifică şi experienţa practică, pentru aplicarea lor în contexte variate.

Scurt istoric

Tehnicile de construcţie din pământ sunt cunoscute de peste 9000 de ani. Case din cărămizi de pământ datând din 8000 - 6000 î.Hr. au fost descoperite în Turkistanul rusesc (Pumpelly, 1908). Fundaţiile din pământ bătătorit datând din jurul anului 5000 î.Hr. au fost descoperite în Asiria. Pământul era folosit ca material de construcţie în toate culturile vechi nu numai pentru case, ci şi pentru aşezămintele religioase. Ilustraţia *1.1* surprinde arcele din Templul lui Ramses II la Gouna, Egipt, construit

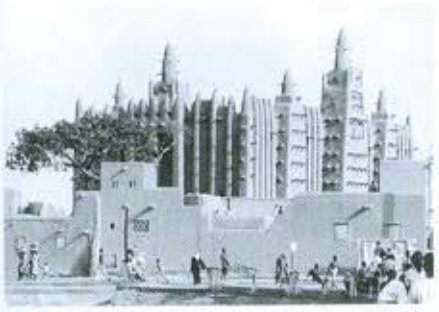
1.2 Oraş fortăreaţă, Valea Draa, Maroc
1.3 Oraşul Bam, Iran, înainte de cutremurul din dec. 2003

1.2

din pământ acum 3200 de ani. Ilustraţia *1.2* reprezintă oraşul Bam din Iran, ce conţine clădiri vechi de cca. 2500 de ani; Figura *1.3* prezintă o fortăreaţă din Valea Draa din Maroc, veche de aproximativ 250 de ani.
Marele Zid Chinezesc vechi de 4000 de ani a fost la început construit numai din pământ bătătorit; învelişul ulterior de pietre şi cărămizi i-au oferit aspectul unui zid de pietre. Mijlocul Piramidei Soarelui din Teotihuacan, Mexic, construită între anii 300 şi 900 d.Hr. conţine aproximativ 2 milioane de tone de pământ bătătorit.
Cu multe secole în urmă, în zonele cu climat uscat, unde lemnul este greu de găsit, s-au pus la punct tehnici de construcţie conform cărora clădirile erau acoperite cu bolţi sau arce din cărămizi de lut fără cofraj sau susţinere în timpul construirii. În ilustraţia *1.6* se poate observa cartierul bazar din Sirdjan în Persia, acoperit cu asemenea arce şi bolţi. În China, douăzeci de milioane de oameni trăiesc în case subterane sau peşteri ce au fost săpate în solul argilos.
Descoperirile datând din Epoca Bronzului au stabilit faptul că în Germania pământul a fost folosit pentru a umple pereţii caselor cu structură din lemn sau pentru a acoperi pereţii făcuţi din trunchiuri de copaci. Se mai foloseau nuiele şi tencuială. Cel mai vechi exemplu de perete făcut din cărămidă de pământ din Europa de Nord, descoperit în Fort Heuneburg lângă Lacul Constance, în Germania (*1.8*) datează din secolul 6 î.Hr. Se ştie, de asemenea, din textele antice ale lui Plinius că în Spania existau forturi din pământ bătătorit la sfârşitul anului 100 î.Hr.
În Mexic, în America Centrală şi în America de Sud, construcţiile din pământ sunt

1.3

cunoscute în aproape toate culturile precolumbiene. Tehnica pământului bătătorit era, de asemenea, cunoscută în multe zone, în timp ce cuceritorii spanioli le-au răspândit şi în alte teritorii. Ilustraţia *1.7* prezintă o construcţie din pământ bătătorit din statul Sao Paulo, Brazilia, veche de 250 de ani.
În Africa, aproape toate moscheele sunt construite din pământ. Ilustraţia *1.9* prezintă o construcţie din secolul 12, iar *1.4* şi *1.5* prezintă exemple mai târzii din Mali şi Iran.
În perioada medievală (din secolul 13 până în secolul17), pământul era folosit în Europa Centrală ca umplutură în construcţiile tip *Fachwerk*, precum şi pentru acoperişurile de paie, pentru a mări rezistenţa la foc.

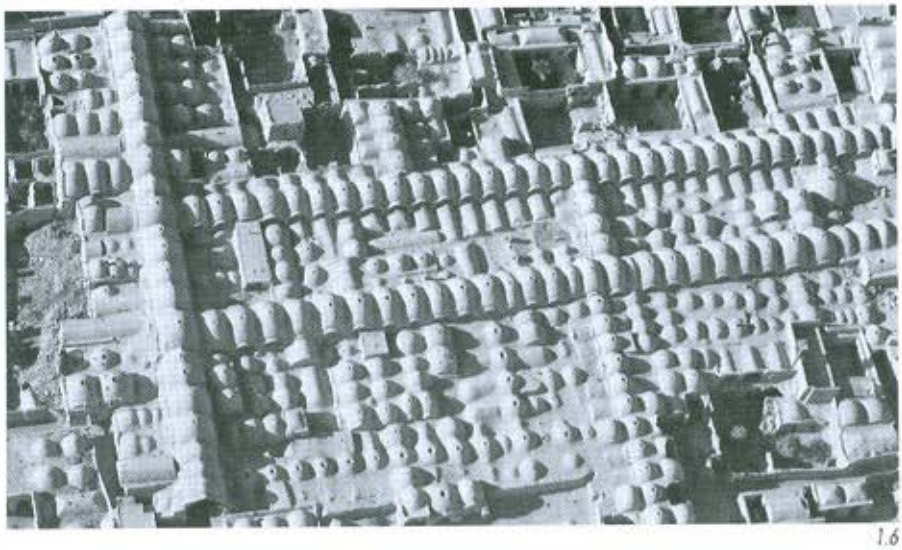


1.4

1.5

1.4 Moschee uriașă la Djenne, Mali, construită în 1935
1.5 Moschee în Kashan, Iran
1.6 Bazar, în Sirdjan, Iran

În Franța, tehnica pământului bătătorit, denumită *terre pisé*, este folosită pe scară largă începând cu secolul al 15-lea și până în secolul al 19-lea.
Lângă orașul Lyon, se găsesc câteva clădiri cu o vechime mai mare de 300 de ani, care încă sunt locuite. În 1790 și 1791, François Cointeraux a publicat patru volume despre această tehnică, ce au fost traduse în limba germană doi ani mai târziu. (Cointeraux, 1793). Tehnica a început să fie cunoscută în întreaga Germanie și țările învecinate prin intermediul lui Cointeraux și David Gilly, care a scris faimosul *Handbuch der Lehmbaukunst* (Gilly, 1787), ce descrie tehnica pământului bătătorit, ca fiind cea mai avantajoasă tehnică de construcție folosind pământul. În Germania, cea mai veche casă locuită cu pereți din pământ bătătorit datează din 1795 (*1.10*). Proprietarul acesteia, șeful pompierilor, a declarat că aceste case rezistente la foc ar putea fi construite mult mai economic folosind această tehnică, spre deosebire de casele tip Fachwerk umplute cu pământ. Cea mai înaltă casă cu pereți din pământ solid din Europa se găsește la Weilburg, în Germania. Terminată în anul 1828, este încă în picioare (*1.11*). Întreg tavanul și toată structura acoperișului se sprijină pe pereții puternici din pământ bătătorit care au o grosime de 75 cm la bază și 40 cm în partea superioară a acoperișului (forța de compresie de la baza pereților ajunge la 7,5 kg/m²). Ilustrația *1.12* prezintă fațadele altor case din pământ bătătorit din Weilburg, construite în jurul anului 1830.



1.6

Pământul ca material de construcție: puncte esențiale

Pământul capătă diverse denumiri, când este folosit ca material de construcție. Ceea ce este denumit științific lut, este de fapt un amestec de argilă, nisip foarte fin (mâl), nisip și eventual componente mai mari precum pietrișul sau pietrele.
Pentru cărămizile nearse, se folosesc adesea termenii „cărămizi de lut" sau „chirpici"; iar pentru cărămizile comprimate nearse, se folosește termenul „blocuri de pământ". Când sunt compactate într-un cofraj, capătă denumirea de „pământ bătătorit". Lutul are trei dezavantaje față de materialele de construcție industriale obișnuite:

1. Lutul nu este un material de construcție standardizat
În funcție de locul de proveniență a lutului, compoziția acestuia va fi diferită, conținând cantități și tipuri diferite de argilă, mâl, nisip și alte agregate. În consecință, caracteristicile lutului pot diferi de la un loc la altul, iar prepararea unui amestec corect pentru o aplicație specifică poate fi, de asemenea, diferită. Pentru a-i stabili caracteristicile și pentru a le schimba atunci când acest lucru este necesar, prin adăugarea de aditivi, trebuie să se cunoască exact compoziția specifică a lutului cu care se lucrează.

2. Amestecul de lut se contractă atunci când se usucă
Când se evaporă apa folosită la prepararea amestecului (este nevoie de umezeală pentru activarea puterii de legare și pentru o mai bună maleabilitate), vor apărea crăpături din cauza contracției. Raportul de contracție liniară este de obicei între 3% și12% pentru procedeele umede (asemeni celor folosite pentru mortar și cărămizi de lut) și între 0.4% și 2% pentru procedeele mai uscate (folosite pentru pământ bătătorit sau blocuri de pământ comprimate). Contracția lutului poate fi limitată prin reducerea conținutului de argilă și apă, prin optimizarea distribuției de granule și prin folosirea de aditivi (vezi p.39).

3. Lutul nu este rezistent la apă
Lutul trebuie protejat de ploaie și îngheț, în special dacă este în stare umedă. Pereții din pământ pot fi protejați de streașină, zidărie rezistentă la umezeală, sau straturi de protecție a suprafeței corespunzătoare (vezi p. 40).

Pe de altă parte, lutul are multe avantaje în comparație cu materialele de construcție industriale obișnuite:

1. Lutul echilibrează umiditatea aerului
Lutul poate să absoarbă și să elibereze umiditatea mai repede și într-o măsură mai mare decât orice alt material de construcție, permițând echilibrarea climatului interior. Experimentele făcute la Forschungslabor für Experimentelles Bauen (Laboratorul de Cercetare pentru Construcții, sau BRL) de la Universitatea Kassel, din Germania, demonstrează faptul că atunci când umiditatea relativă dintr-o cameră se ridică brusc de la 50% la 80%, cărămizile nearse pot să absoarbă, în două zile, de 30 de ori mai multă umiditate decât cărămizile arse.
Chiar dacă se află într-o cameră climatizată cu o umiditate de 95% timp de 6 luni, chirpiciul nu se umezește, nu-și pierde stabilitatea și nici nu depășește conținutul normal de umiditate, care este de 5% până la 7% din greutate. (Umiditatea maximă pe care un material uscat o poate absorbi

1.9

1.7

poartă denumirea de „conținut normal de umiditate").
Măsurătorile făcute pe o perioadă de 8 ani într-o casă recent construită din Germania, cu toți pereții exteriori și interiori făcuți din pământ, au demonstrat faptul că umiditatea relativă din această casă era în mod constant de 50%, pe tot parcursul anului. Fluctuațiile erau de numai 5% până la 10%, asigurând astfel condiții de viață sănătoase cu o umiditate redusă vara și ridicată iarna. (Pentru detalii, vezi p. 15).

2. Lutul menține căldura
La fel ca toate materialele grele, lutul menține căldura. Ca rezultat, în zonele cu mari diferențe de temperatură între zi și noapte, sau oriunde este necesară stocarea căldurii solare prin mijloace pasive, lutul poate echilibra climatul interior.

3. Lutul economisește energia și reduce poluarea mediului înconjurător
Pentru pregătirea, transportul și folosirea lutului pe șantier este nevoie de numai cca. 1 % din energia necesară producerii, transportului și folosirii cărămizilor arse sau a betonului armat. Lutul nu poluează în niciun fel mediul înconjurător.

4. Lutul este refolosibil
Lutul nears poate fi reciclat de un număr infinit de ori pe o perioadă foarte îndelungată. Lutul uscat vechi poate fi refolosit după ce este înmuiat în apă, deci lutul nu devine niciodată un material rezidual care ar putea polua mediul.

1.8

1.7 Clădire din pământ bătătorit, Sao Paulo, Brazilia
1.8 Reconstrucția unui perete din cărămizi de nămol, Heuneburg, Germania, din secolul 6 î.Hr.
1.9 Moschee la Nando, Mali, din secolul 12

1.11

1.12

1.10 Casă din pământ bătătorit, Meldorf, Germania, 1795
1.11 Casă din pământ bătătorit, Weilburg, Germania, 1828
1.12 Casă din pământ bătătorit, Weilburg, Germania, 1830

5. Lutul permite reducerea costurilor pentru materiale și transport
Solul argilos se găsește adesea pe șantier, astfel încât pământul excavat pentru fundații poate fi folosit pentru construcțiile din pământ. Dacă solul conține prea puțină argilă, trebuie adăugat sol argilos, iar dacă este prea multă argilă, se adaugă nisip. Folosirea pământului excavat înseamnă mari reduceri de costuri în comparație cu alte materiale de construcție. Chiar dacă solul este transportat de pe alte șantiere, este, de obicei, mult mai ieftin decât materialele de construcție industriale.

6. Lutul este ideal pentru construcțiile făcute în regie proprie
În cazul în care procesul de construcție este supervizat de un individ experimentat, tehnicile de construire folosind pământul pot fi, de obicei, executate și de neprofesioniști. Deoarece procesele implicate nu necesită decât multă muncă, având la îndemână unelte și mașini ieftine, acestea sunt ideale pentru construcțiile individuale.

7. Lutul ajută la păstrarea lemnului și a celorlalte materiale organice
Datorită conținutului de umiditate echilibrat de 0,4% până la 6% din greutate, precum și datorită capilarității ridicate, lutul conservă elementele din lemn care rămân în contact cu acesta, păstrându-le uscate. În mod normal, ciupercile sau insectele nu vor deteriora lemnul, deoarece insectele au nevoie de o umiditate de minimum 14% până la 18% pentru a rămâne în viață, iar ciupercile de mai mult de 20% (Mohler 1978, p. 18). În mod similar, lutul poate conserva cantitățile mici de paie cu care formează un amestec. Totuși, dacă se folosește un amestec ușor de lut cu paie, cu o densitate de mai puțin de 500 până la 600kg/m^3, atunci lutul își poate pierde capacitatea de conservare din cauza capilarității ridicate a paielor, dacă acestea sunt în număr mare.
În astfel de cazuri, paiele pot putrezi atunci când rămân ude pentru un timp îndelungat (vezi p. 83).

8 Lutul absoarbe agenții poluanți
S-a susținut adesea că pereții din pământ ajută la purificarea aerului poluat din interior, dar acest fapt trebuie dovedit

1.10

științific. Este adevărat că pereții din pământ pot absorbi agenții poluanți dizolvați în apă. De exemplu, în Ruhleben, Berlin există o fabrică demonstrativă care folosește pământ argilos pentru îndepărtarea fosfaților din 600 m^3 de canalizare zilnic. Fosfații sunt adunați de mineralele de argilă și extrași din canalizare. Avantajul acestei proceduri este că din moment ce nu rămân substanțe străine în apă, fosfații se transformă în fosfat de calciu, care poate fi reutilizat ca fertilizator.

Îmbunătățirea climatului interior

În zonele cu climat moderat și rece, oamenii petrec aproximativ 90% din timp în spații închise, așadar temperatura interioară este un factor crucial pentru viață. Confortul depinde de temperatură, mișcare, umiditate, radiații dinspre și înspre obiectele înconjurătoare și de nivelul de poluare a aerului dintr-o anumită cameră.
Dacă cei prezenți într-o încăpere își pot da imediat seama când temperatura din cameră este ridicată sau scăzută, în ceea ce privește influența negativă a nivelului de umiditate ridicat sau prea scăzut nu se cunosc prea multe.
Umiditatea aerului în spații închise are un impact considerabil asupra sănătății celor care locuiesc în încăpere, iar pământul are capacitatea de a echilibra umiditatea interioară mai bine decât orice alt material de construcție. Acest lucru, descoperit recent, este descris în detaliu mai târziu în acest capitol.

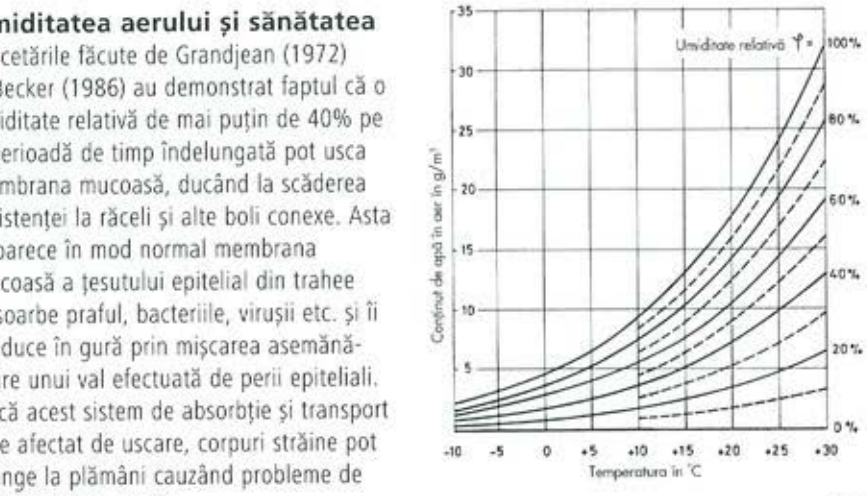
Umiditatea aerului și sănătatea

Cercetările făcute de Grandjean (1972) și Becker (1986) au demonstrat faptul că o umiditate relativă de mai puțin de 40% pe o perioadă de timp îndelungată pot usca membrana mucoasă, ducând la scăderea rezistenței la răceli și alte boli conexe. Asta deoarece în mod normal membrana mucoasă a țesutului epitelial din trahee absoarbe praful, bacteriile, virușii etc. și îi readuce în gură prin mișcarea asemănătoare unui val efectuată de perii epiteliali. Dacă acest sistem de absorbție și transport este afectat de uscare, corpuri străine pot ajunge la plămâni cauzând probleme de sănătate (vezi *1.13*).

O umiditate relativă ridicată, de până la 70%, are multe consecințe pozitive: reduce conținutul de praf din aer, activează protecția mecanismelor pielii împotriva microbilor, reduce viața multor bacterii și virusi, precum și mirosurile și încărcătura statică de pe suprafețele și obiectele din cameră. O umiditate relativă de mai mult de 70% este în mod normal resimțită neplăcut, din cauza reducerii cantității de oxigen din sânge într-un climat cald și umed. Dacă aerul este rece și umed cresc durerile reumatice. Ciupercile se înmulțesc semnificativ în încăperile închise, unde umiditatea se ridică la peste 70% sau 80%. Sporii ciupercilor în cantități mari pot provoca diverse afecțiuni și alergii. Pe baza acestor observații, s-a concluzionat faptul că nivelul de umiditate dintr-o cameră trebuie să fie de minim 40%, dar nu mai mult de 70%.

Impactul schimbului de aer asupra umidității aerului

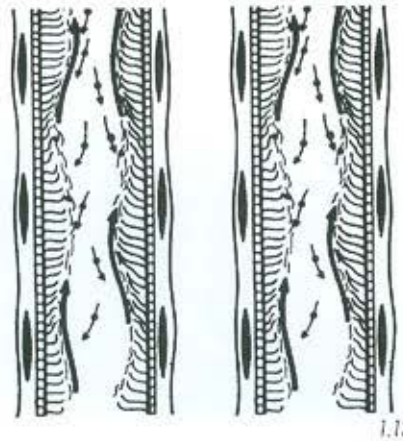
În zonele cu climat rece și temperat, când temperaturile din exterior sunt mult mai scăzute decât cele din interior, un schimb de aer mai intens poate face aerul din interior atât de uscat încât să dăuneze sănătății. De exemplu, dacă aerul de afară cu o temperatură de 0° C și o umiditate relativă de 60% pătrunde într-o cameră unde este încălzit până la 20° C, umiditatea relativă a acestuia scade până la mai puțin de 20%. Chiar dacă aerul de afară (cu temperatura de 0° C) ar avea un nivel de umiditate de 100% și ar fi încălzit până la 20° C, umiditatea relativă tot ar avea valori mai scăzute de 30%. În ambele cazuri, este necesară creșterea umidității cât mai repede posibil pentru a trăi într-un mediu confortabil și sănătos. Acest lucru este posibil prin reglarea umidității degajată de pereți, tavane, podele și mobilă (vezi figura *1.14*).



1.14

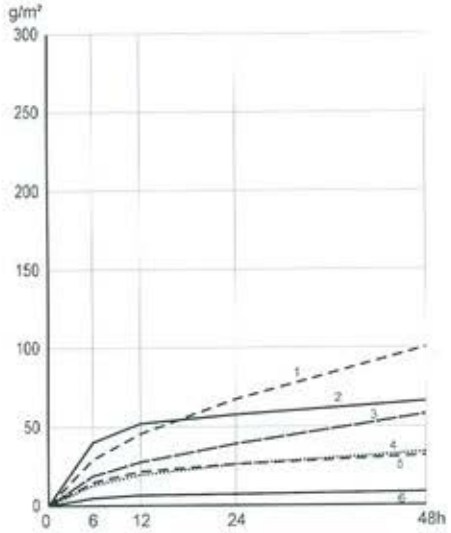
Efectul de echilibrare a umidității produs de lut

Materialele poroase au capacitatea de a absorbi umiditatea din aer, dar și de a o difuza în aer, asigurând astfel o umiditate echilibrată în interior. Conținutul de umiditate echilibrat depinde de temperatura și umiditatea aerului (vezi p. 29 și ilustrația *2.29*). Eficacitatea acestui proces de echilibrare depinde, de asemenea, de viteza de absorbție sau de desorbție. Experimentele făcute la BRL demonstrează, de exemplu, faptul că primul strat gros de 15 cm al unui perete din cărămizi de lut poate absorbi în jur de 300 g de apă pe mp de perete în 48 de ore, dacă umiditatea aerului mediului se ridică brusc de la 50% la 80%. Totuși, blocurile din piatră calcaroasă și lemnul de pin de aceeași grosime absorb numai circa 100 g/m², gipsul 26 până la 76 g/m² și

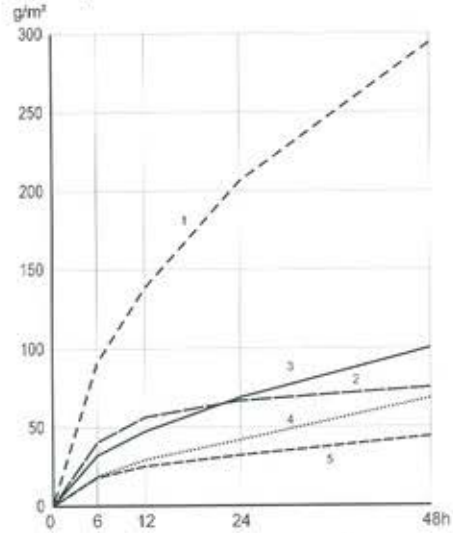


1.13

1.13 Secțiune prin trahee cu membrana mucoasă (stânga) și una uscată (dreapta) (Becker, 1986)
1.14 Diagrama Carrier
1.15 Absorbția mostrelor, 15 mm grosime, la temperatura de 21°C și o creștere bruscă a umidității de la 50% la 80%

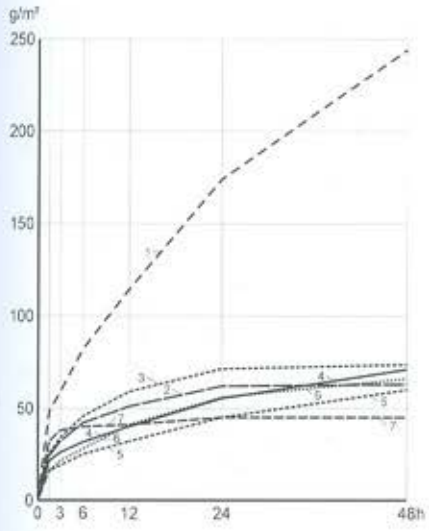


1 Mortar de ciment
2 Cărămizi var-nisip
3 Beton poros
4 Cărămizi ușoare
5 Cărămizi solide
6 Cărămizi de clincher



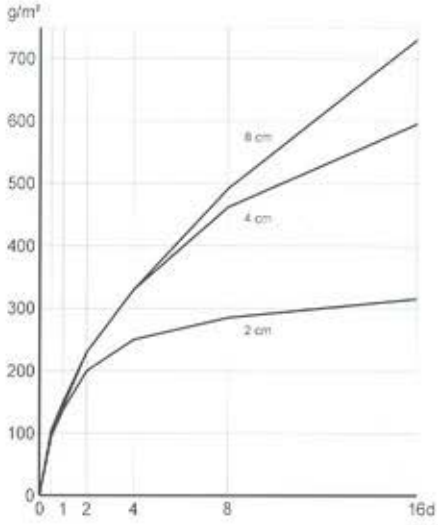
1 Lut argilos
2 Tencuială de lut argilos
3 Plută aplatizată
4 Tencuială ciment-var
5 Tencuială gips

1.15



1 Molid, aplatizat
2 Limba, aplatizată
3 Lut argilos
4 Gips din lut argilos
5 Gips de lut cu fibra de cocos
6 Gips de ciment cu var
7 Gips

1.17



1.18

1.16 Curbe de absorbție ale pereților groși de 11.5 cm pe interior cu două părți expuse la o temperatură de 21°C după o creștere bruscă a umidității de la 50% la 80%

1.17 Curbele de absorbție ale mostrelor cu o grosime de 15 mm, cu o parte expusă la o temperatură de 21°C după o creștere bruscă a umidității de la 30% la 70%

1.18 Efectul grosimii straturilor de lut la o temperatură de 21°C asupra ratei absorbției la o creștere bruscă a umidității de la 50% la 80% .

cărămida arsă numai 6 până la 30g /m² în aceeași perioadă de timp (*1.15*).

În figura *1.16* sunt prezentate curbele de absorbție pe ambele părți ale pereților negletuiți, groși de 11,5 cm, făcuți din diverse materiale, pe o perioadă de 16 zile. Rezultatele demonstrează capacitatea cărămizilor de lut de a absorbi de 50 de ori mai multă umezeală decât cărămizile arse la temperaturi mari. În figura *1.17* sunt prezentate ratele de absorbție ale mostrelor groase de 15 cm, atunci când umiditatea crește de la 30% la 70%.

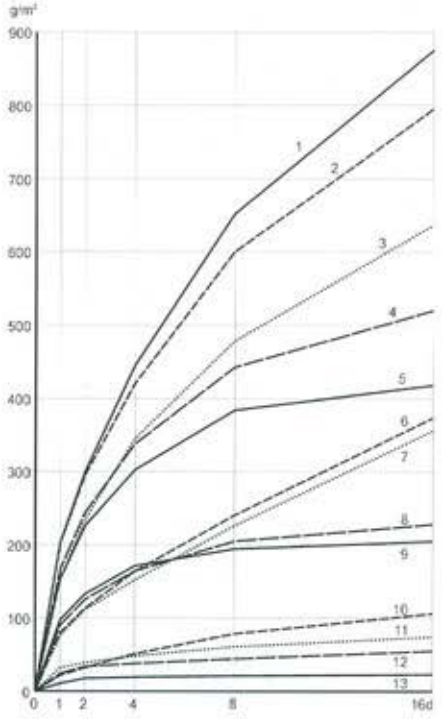
Influența grosimii solului argilos asupra ratelor de absorbție este prezentată în figura *1.18*. Aici putem observa faptul că atunci când umiditatea crește brusc de la 50% la 80%, numai primii 2 cm de la suprafață absorb umiditatea în primele 24 de ore și că numai stratul superior gros de 4 cm este activ în primele 4 zile. Vopselele pe bază de var, caseină și celuloză reduc nesemnificativ această absorbție, în timp ce învelișul dublu de latex și simplu de ulei de in pot reduce rata de absorbție de la 38% la 50% respectiv, după cum se observă în figura *1.19*. Într-o încăpere cu o podea de 3 x 4 m, cu o înălțime de 3 m, și un perete de 30 m² (fără uși și ferestre) dacă umiditatea aerului din interior s-ar ridica de la 50% la 80%, pereții negletuiți din cărămizi de lut ar absorbi în jur de 9 litri de apă în 48 de ore.

(Dacă umiditatea ar scădea de la 80% la 50%, ar fi eliberată aceeași cantitate).

Dacă aceiași pereți ar fi construiți din cărămizi arse, ar absorbi numai în jur de 0,9 litri de apă în aceeași perioadă de timp, de unde rezultă că aceștia nu sunt potriviți pentru echilibrarea umidității din camere.

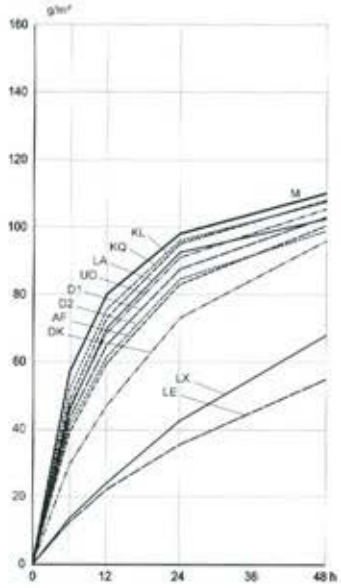
Măsurătorile făcute pe o perioadă de 5 ani în diverse camere dintr-o casă construită în Germania în 1985, având toți pereții exteriori și interiori din pământ, au demonstrat faptul că umiditatea relativă a rămas aproape constantă pe parcursul anilor, variind de la 45% la 55%.

Proprietarul dorea să obțină nivele de umiditate de 50% până la 60% numai în dormitor. Era posibilă menținerea acestui nivel ridicat (mai sănătos pentru persoane predispuse la răceli și gripe) folosind umiditatea crescută din baia alăturată. Dacă umiditatea din dormitor scădea prea mult, se deschidea ușa băii după duș, reîncărcând astfel pereții dormitorului cu umiditate.



1 Lut mâlos
2 Lut argilos (1900)
3 Lut de paie (1400)
4 Lut de paie (700)
5 Lut de paie (550)
6 Pin
7 Beton poros (400)
8 Lut argilos expandat (750)
9 Lut argilos expandat (1500)
10 Cărămizi poroase (800)
11 Cărămizi solide (1800)
12 Mortar de ciment (2200)
13 Mortar de ciment M 15

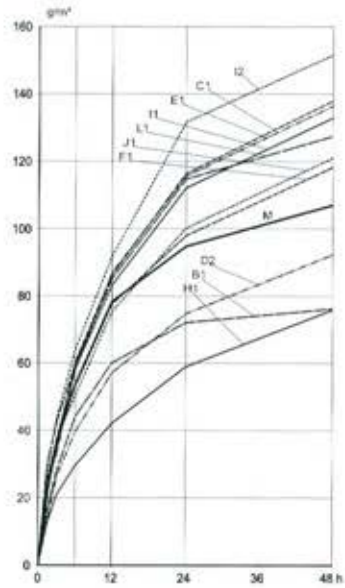
1.16



M Lut mâlos, 2 Nisip fără strat
KQ 2x 1 Var. 1 Quark: 1.7 Apa
KL 2x Vopsea de celuloză cu cretă
LE 1 x Ulei de in dublu rafinat
D2 2x Vopsea de dispersie Biofa
LA 1 x Smalț Biofa cu amorsă
AF 2x Vopsea Acrylic

DK 2x Vopsea sintetică de dispersie pentru exterior
LX 2x Latex
UD 2x Vopsea de dispersie fără solvent
D1 2x Vopsea de dispersie pentru interior

1.19



M Gips de lut fără agregate
I2 cu 2.0% fibre de cocos
C1 cu 2.0% fibre de celuloză
E1 cu 2.0% fibră de sticlă

I1 cu 1.0% fibre de cocos
L1 cu 3.0% rumeguș

J1 cu 2.0% paie de grâu
F1 cu 3.0% ciment
D2 cu 2.0% făină de secară fiartă
B1 cu 0.5% lipici de celuloză
H1 cu 6.0% cazeină/var

1.20

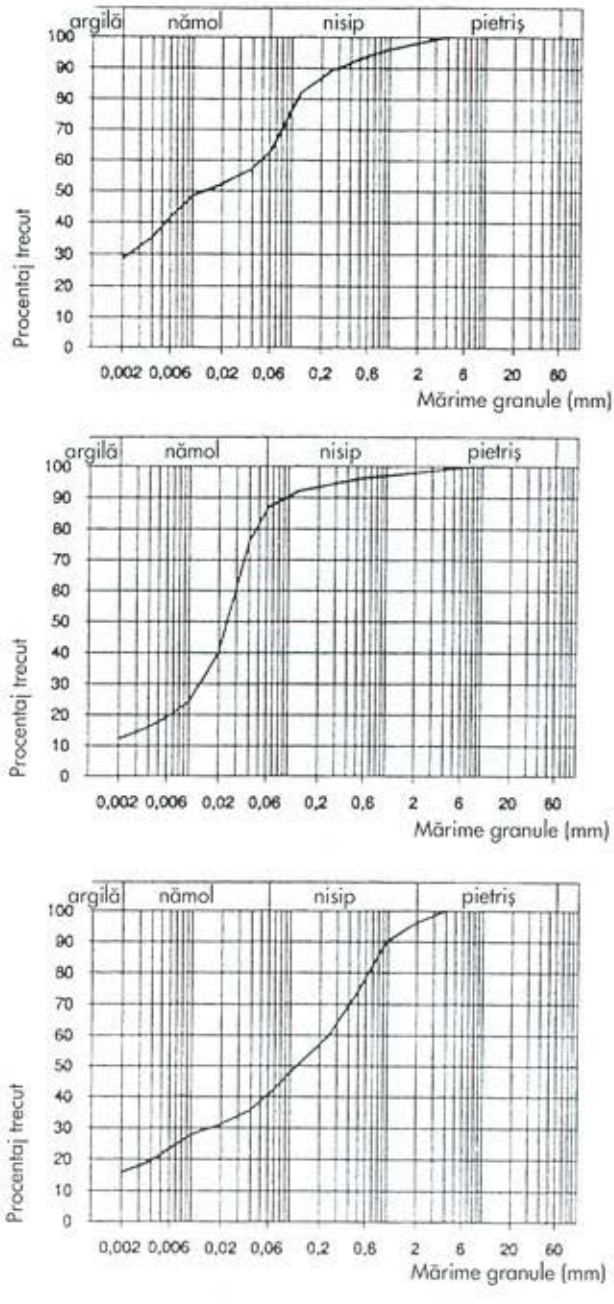
1.19 Influența straturilor asupra tencuielii groasă de 1,5 cm, expusă pe o parte la o temperatura de 21° C (argilă 4%, mâl 25%, nisip 71 %) după o creștere bruscă a umidității de la 50% la 80%. Grosimea stratului este de 100 ± 10 µm
1.20 Influența diverselor componente asupra absorbției umidității. Aceleași condiții menționate la *1.19*.

Prejudecăți privind pământul ca material de construcție

Din cauza ignoranței, există încă numeroase prejudecăți legate de folosirea lutului.
Mulți nu înțeleg faptul că un material de construcție natural cum este pământul nu trebuie să fie procesat și că, în multe cazuri, prin excavarea pentru fundații se furnizează un material care poate fi folosit direct pentru construcție.
Următoarea reacție a unui meșter care a trebuit să construiască un perete de chirpici este caracteristică:
„E ca în evul mediu; trebuie să ne murdărim pe mâini cu noroiul ăsta."
Același meșter, arătându-și fericit mâinile după lucrul cu chirpiciul, declara, o săptămână mai târziu: „Ați mai văzut vreodată mâini de meșter atât de fine? Este amuzant să lucrezi cu chirpici mai ales că nu are colțuri ascuțite."
Dacă pereții de pământ sunt compacți nu trebuie să ne facem griji că șoarecii sau insectele ar putea să-și găsească aici adăpost. Insectele pot supraviețui numai dacă există goluri, ca în cazul pereților „wattle-and-daub" (nuiele și tencuială). În America de Sud, boala Chagas, care provoacă orbirea, provine de la insectele care trăiesc în pereții din nuiele și tencuială. Golurile pot fi evitate prin construirea unor pereți din pământ bătătorit sau cărămizi de pământ cu îmbinări umplute în totalitate cu mortar de lut. Mai mult, dacă pământul conține prea mulți aditivi organici, ca în cazul argilei cu paie ușoare, care are o densitate mai mică de 600 kg/m^3, insectele mici, precum păduchele de lemn, pot trăi în paie și îl pot ataca. Percepția răspândită conform căreia suprafețele de lut se curăță greu (în special în bucătării și băi) se poate schimba dacă suprafețele sunt vopsite cu cazeină, var-cazeină, ulei de in sau alte straturi, care le fac neabrazive. După cum se explică la pag. 132, băile cu pereți de pământ sunt mai igienice decât cele cu plăci ceramice, deoarece pământul absoarbe repede umiditatea ridicată, împiedicând astfel dezvoltarea ciupercilor.

Notă
Pentru transformarea valorilor metrice a se vedea pagina 195.

2 Proprietățile pământului ca material de construcție



2.1 Distribuție granulară de lut cu conținut ridicat de argilă (sus), conținut ridicat de nămol (mijloc), și conținut ridicat de nisip (jos)

Compoziție

Generalități

Lutul este un produs al eroziunii rocilor din învelișul pământului. Această eroziune apare, în principal, prin măcinarea mecanică a rocilor datorită mișcării ghețarilor, apei și vântului, sau ca urmare a contracției și dilatării rocilor datorită diferențelor de temperatură, sau ca urmare a infiltrării apei înghețate prin crăpăturile rocilor. Eroziunea rocilor se mai poate datora și acidului organic prezent în plante, dar și reacțiilor chimice dintre apă și oxigen. Compoziția și proprietățile lutului depind de condițiile climaterice locale. Lutul pietros de munte, de exemplu, este mult mai potrivit pentru pământ bătătorit (conține suficientă argilă), în timp ce lutul de râu este deseori nămolos, ca urmare mai puțin rezistent la apă și mai slab la compresie.

Lutul este un amestec de argilă, nămol și nisip, iar câteodată conține și alte agregate cum ar fi pietriș sau pietre. Ingineria definește compoziția lui în funcție de diametrul particulelor din compoziție: particulele cu diametrul mai mic de 0.002mm sunt definite ca argilă, cele între 0.002 și 0.006mm sunt denumite nămol, iar cele între 0.006mm și 2mm, nisip. Particulele mai mari de acest diametru poartă denumirea de pietriș sau pietre. La fel ca cimentul în cadrul betonului, argila are rolul de a lega între ele particulele mai mari din cadrul lutului. Nămolul, nisipul și agregatele reprezintă material de umplere.

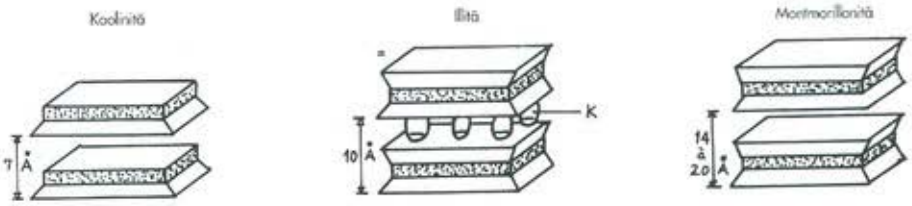
În funcție de care dintre acestea predomină, vorbim despre lut ca fiind

argilos, nămolos sau nisipos. În solul obișnuit, dacă avem un conținut de argilă mai mic de 15% raportat la greutate, atunci solul e considerat sărac argilos.

Dacă are mai mult de 30% argilă, atunci este considerat un sol bogat argilos. Componentele care sunt în proporție de sub 5% din greutatea totală a amestecului nu se iau în considerare.
Spre exemplu, un sol bogat nămolos, nisipos, și sărac argilos conține mai mult de 30% nămol, între 15% și 30% nisip, sub 15% argilă și sub 5% pietriș și pietre. Oricum, în ingineria construcțiilor de pământ, această metodă de numire a solurilor este puțin imprecisă. Spre exemplu, un lut cu 14% argilă care ar trebui numit lut sărac argilos în mecanica solului, se va considera un sol bogat argilos din punct de vedere al construcției din pământ.

Argila

Argila este un produs al eroziunii feldspatului și a altor minerale. Feldspatul conține oxid de aluminiu, un oxid de metal secundar și un dioxid de silicon. Unul dintre cei mai frecvenți feldspați are formula chimică $Al_2O_3 - K_2O - 6SiO_2$. În cazul în care compușii de potasiu se dizolvă în timpul eroziunii, atunci se formează argila numită Kaolinita, având formula $Al_2O_3 - 2SiO_2 - 2H_2O$. Alt mineral argilos foarte răspândit este Montmorillonita, care are formula $Al_2O_2 - 4SiO_2$. De asemenea, există o mulțime de compuși minerali argiloși printre care și Illita. Structura lui este prezentată în tabelul *2.2*. Mineralele argiloase sunt, de asemenea, amestecate cu alți compuși chimici, în special cu oxidul hidrat de fier ($Fe_2O_3 - H_2O$) sau alți compuși de fier, oferindu-le acestora o culoare galbenă sau roșie. Manganul oferă o culoare maronie, în timp ce calcarul și compușii de magneziu oferă o culoare albă. Substanțele organice dau o nuanță de maro închis sau chiar negru.
Mineralele argiloase au de obicei o structură lamelară hexagonală cristalină. Aceste lamele constau în mai multe straturi care se formează de regulă în jurul miezurilor de silicon sau aluminiu.
În cazul siliconului, sunt înconjurate de oxigenați în timp ce la aluminiu sunt înconjurate de grupări hidroxil (-HO).



2.2

Stratul oxizilor de silicon au încărcătura negativă cea mai mare, care le conferă o mare forță de legătură interlamelară (fig.*2.3*).
Datorită faptului că fiecare strat de hidroxid de aluminiu este conectat la un strat de oxid de silicon, stratul dublu de Kaolinită are o legătură ionică slabă, în timp ce în stratul mineral triplu de Montmorillonită (un strat de hidroxid de aluminiu este întotdeauna înconjurat de două straturi de oxid de silicon), se manifestă o puternică legătură ionică. Majoritatea mineralelor argiloase au cationi interschimbabili. Forța de legătură și rezistența la compresie depind de tipul și cantitatea de cationi.

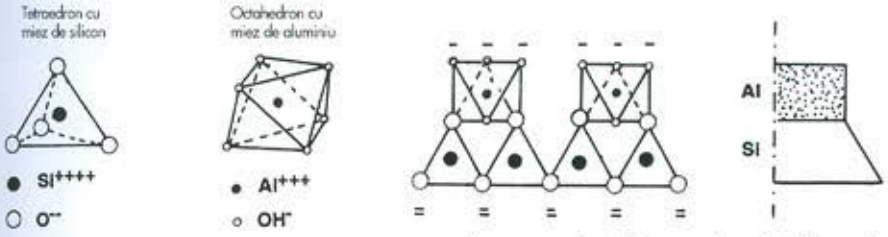
2.2 Structura celor mai cunoscute trei minerale argiloase (conform Houben, Guillaud, 1984)
2.3 Structura lamelară a mineralelor de argilă (conform Houben, Guillaud, 1984)
2.4 Distribuția granulară a solului surprinsă într-un tabel triunghiular (după Voth,1978)

Nămol, nisip și pietriș

Proprietățile nămolului, nisipului și a pietrișului sunt complet diferite de cele ale argilei.
Sunt simple agregate lipsite de forțe de legătură și provin fie din pietre erodate (în acest caz sunt colțuroase), sau ca urmare a mișcării apei (în acest caz sunt rotunjite).

Distribuția granulară

Lutul este caracterizat prin componentele sale: argilă, nămol, nisip și pietriș. Proporțiile componentelor sunt reprezentate în fig. *2.1*. Aici, axa verticală reprezintă greutatea în procente din totalul fiecărei granulații, care este în schimb măsurată pe axa orizontală folosindu-se scara logaritmică. Curba este măsurată cumulativ cu fiecare granulație, incluzând și componentele fine. Graficul de mai sus caracterizează un lut bogat argilos cu 28% argilă, 35% nămol, 33% nisip și 4% pietriș. Graficul din mijloc reprezintă un lut bogat nămolos cu 76% nămol, iar graficul de jos reprezintă un lut bogat nisipos conținând 56% nisip. Altă metodă pentru reprezentarea grafică a particulelor componente mai mici de 2 mm sunt reprezentate în fig.*2.4*. Aici, procentul de argilă, nămol și nisip poate fi reprezentat pe cele trei axe ale unui triunghi și citite corespunzător.

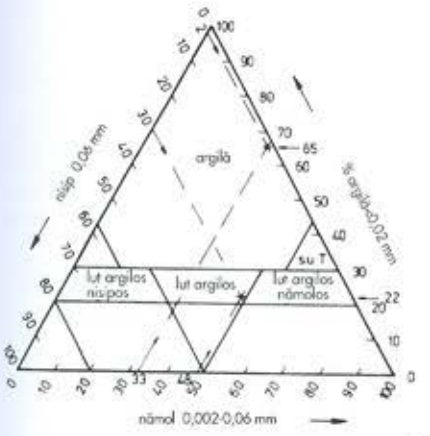


2.3

Spre exemplu, lutul marcat cu S III în grafic este compus din 22% argilă, 48% nămol şi 30% nisip.

Constituenţi organici

Solul colectat de la o adâncime mai mică de 40cm, de obicei, conţine rămăşiţe de plante şi humus (produs al putrefacţiei plantelor), constând, în principal, din plante coloidale şi acidul lor (PH-ul <6). Pământul pentru construcţii trebuie să fie lipsit de humus şi rămăşiţe de plante. În anumite condiţii, se pot păstra bucăţi de plante precum paiele, însă acestea trebuie să fie uscate pentru a nu exista pericolul ulterior de alterare a compoziţiei (vezi p.83).



2.3

Apa

Apa activează forţele de legătură a particulelor lutului. Pe lângă apa normală, există 3 tipuri de apă în lut: apa cristalizată (apa structurală), apa absorbită şi apa de capilaritate (apa cu pori). Apa cristalizată poate fi izolată chimic şi este singura ce se poate distinge dacă lutul este încălzit la temperaturi ridicate, între 400° C şi 900° C. Apa absorbită poate fi separată electric de mineralele argiloase. Apa de capilaritate a intrat în porii materialului prin acţiuni de capilaritate. Apa absorbită şi cea de capilaritate sunt eliberate când amestecul este încălzit la 105° C. Dacă argila uscată devine udă, se umflă datorită dârelor de apă din structura lamelară, înconjurate de lamele cu un strat subţire de apă. Dacă această apă se evaporă, distanţa interlamelară se reduce, iar lamelele se aranjează singure în paralel datorită forţelor electrice de atracţie. Astfel, argila dobândeşte o forţă de legătură (vezi p.32), dacă e în formă maleabilă, precum şi rezistenţă la compresie şi rezistenţă la întindere după uscare.

Porozitatea

Gradul de porozitate este definit ca volumul total de pori din cadrul lutului. Mai important decât volumul porilor sunt dimensiunile acestora. Cu cât porozitatea este mai mare, cu atât difuzia vaporilor şi rezistenţa la îngheţ este mai mare.

Suprafaţa specifică

Suprafaţa specifică a solului este suma suprafeţelor particulelor. Nisipul are o suprafaţă specifică de 23cm^2/g, nămolul în jur de 450 cm^2/g şi argila, de la 10 m^2/g(în cazul Kaolinitei) până la 1000 m^2/g (în cazul Montmorillonitei). Cu cât suprafaţa specifică a argilei este mai mare, cu atât forţele interne de coeziune sunt mai mari, fiind la fel de relevante pentru forţele de legătură, ca şi rezistenţa la compresie şi rezistenţa la întindere.

Densitatea

Densitatea solului este definită ca fiind procentul de masă uscată din cadrul volumului total (incluzând porii). Rămăşiţele de sol proaspăt au o densitate între 1000 şi 1500kg/m^3.
Dacă această bucată de pământ este comprimată, prin bătătorirea pământului sau secţionarea în bucăţi compacte a solului, densitatea va varia între 1700 şi 2200 kg/m^3 (sau mai mult, dacă acesta conţine cantităţi mari de pietriş sau alte materiale mai mari).

Compactarea

Compactarea reprezintă capacitatea pământului folosit de a se comprima folosind presiune statică sau compactare dinamică, astfel încât să i se reducă volumul. Pentru a obţine o compactare maximă, pământul trebuie să aibă un conţinut de apă specifică bine stabilit, denumit „conţinutul optim de apă", care permite particulelor să se mişte într-o configuraţie densă, fără să existe prea multe frecări. Acest lucru e măsurat de testul Proctor (vezi p.44).

Teste folosite pentru analiza compoziţiei lutului

Pentru a obţine lutul optim la o anumită aplicaţie, este necesar să îi ştim compoziţia. Următoarea secţiune descrie teste de laborator standard şi teste de pământ simplu, care sunt folosite pentru analiza compoziţiei lutului.

Analiza combinată de cernere și sedimentare

Proporția agregatelor brute (nisip, pietriș și pietre) este relativ ușor de stabilit prin cernere. Oricum, proporția agregatelor fine poate fi determinată numai prin sedimentare. Acest test e specificat în detaliu în standardul german DIN 18123.

Conținutul de apă

Cantitatea de apă din cadrul amestecului de lut poate fi ușor determinată cântărind mostrele și apoi încălzindu-le până la o temperatură de 105°C. Dacă greutatea rămâne constantă, amestecul este uscat și diferența dintre cele două greutăți reprezintă greutatea apei separată non-chimic. Conținutul de apă este stabilit ca fiind un procent din greutatea întregului amestec.

Teste de pământ simplu

Următoarele teste nu sunt foarte exacte, dar pot fi efectuate pe șantier relativ repede și, de obicei, sunt suficient de exacte pentru a estima compoziția lutului și pentru a constata dacă amestecul este acceptabil pentru aplicația respectivă.

Testul mirosului

Lutul pur este inodor, însă dobândește un miros de mucegai atunci când conține humus sau părți organice.

Testul gustului

Se gustă o bucățică de sol. Solul nisipos produce o senzație dezagreabilă, opusă celei provocate de solul nămolos, care este mult mai plăcută. Solul argilos provoacă în schimb o senzație lipicioasă, fină sau făinoasă.

Testul spălării

O mostră de sol umed este frecată în mâini. Dacă particulele se simt la atingere, acest lucru înseamnă că este un sol nisipos sau cu pietriș. Dacă solul este lipicios, dar mâinile pot fi ușor curățate când pământul se usucă, acest lucru indică un sol nămolos. Dacă mostra este lipicioasă și pentru curățarea mâinilor este necesară multă apă, înseamnă că este un sol argilos.

Testul tăierii

O mostră de pământ umed este modelată sub formă de sferă și tăiată cu un cuțit. Dacă suprafața tăiată este strălucitoare, înseamnă că amestecul are un conținut ridicat de argilă. Dacă este fără strălucire, mată, indică un conținut ridicat de nămol.

Testul sedimentării

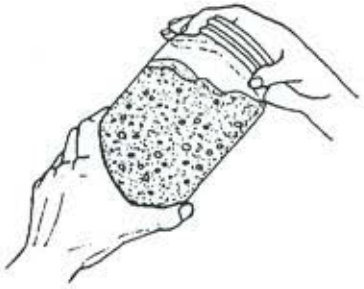
Amestecul este agitat într-un recipient de sticlă cu multă apă. Cele mai mari particule vor sta pe fundul recipientului, cele mai fine la suprafața apei. Această stratificare ne ajută să estimăm proporția elementelor componente. Este greșit să afirmăm că înălțimea fiecărui strat corespunde proporției de argilă, nămol, nisip sau pietriș, așa cum susțineau numeroși autori (vezi *2.6.*).

Câteva experimente ale Laboratorului de Cercetări în Construcții (BRL), de la Universitatea din Kassel, au arătat că marja de eroare poate fi de până la 1750%, așa cum se poate vedea în *2.5* și *2.8.*
De fapt, se pot distinge straturi succesive la schimbările bruște ale distribuției mărimii granulelor, iar acest lucru poate să nu coincidă cu limitele actuale predefinite între argilă și nămol, dar și între nămol și nisip (vezi *2.7*).

Mostra	Conținut	Viziune		Realitate
		% (vol.)	% (masă)	% (masă)
K1	Argilă	45	14	6
	Mâl	18	26	38
	Nisip	37	60	56
K2	Argilă	36	17	2
	Mâl	24	19	16
	Nisip	40	64	82

2.5

2.5 Distribuirea mărimii granulelor solului în cazul celor două tipuri de lut testate cu ajutorul testului sedimentării
2.6 Testul sedimentării (CRATerre, 1979)
2.7 Testul sedimentării

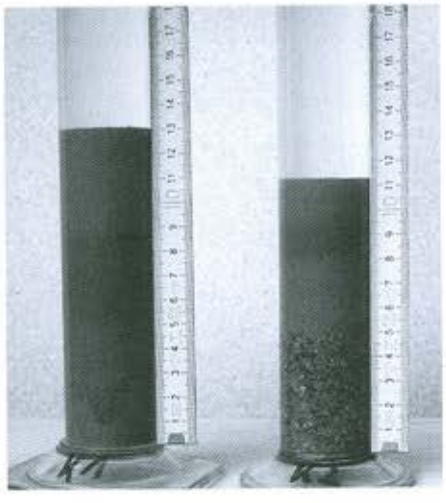


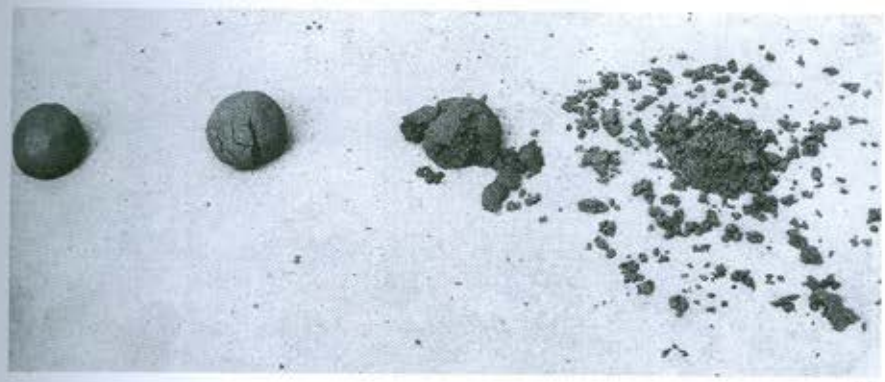
2.6

Testul aruncării mingii

Amestecul ce urmează a fi testat trebuie să fie cât mai uscat posibil, dar destul de umed pentru a forma o minge cu diametrul de 4 cm.
Când mingea cade de la o înălțime de 1.5m pe o suprafață plană orizontală, se pot obține diferite rezultate, după cum se vede și în figura *2.9.* Dacă mingea se turtește doar puțin și se desprind puține bucăți sau niciuna, ca la mostra din partea stângă, înseamnă că amestecul are o forță de legătură puternică datorită unui conținut ridicat de argilă. Normal, acest amestec se va subția adăugând nisip. Dacă testul va arăta precum mostrele din dreapta, înseamnă că amestecul are un conținut de argilă foarte scăzut. Forța de legătură este insuficientă, drept urmare acesta nu poate

2.7





2.9

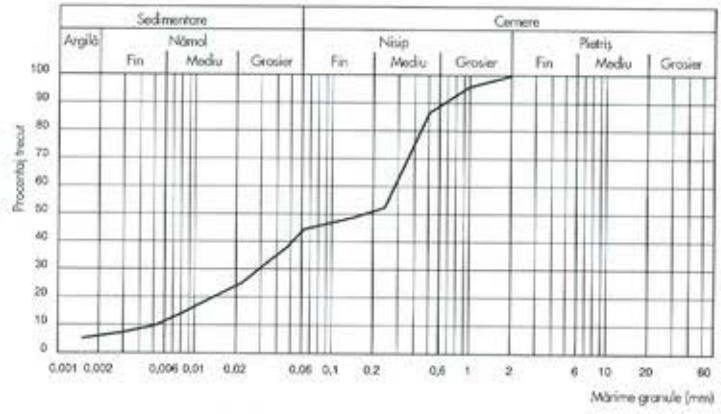
fi folosit ca material de construcție. În cazul celei de-a treia mostre din stânga, amestecul are o forță de legătură relativ mică, dar compoziția lui poate fi folosită în mod normal pentru blocuri de pământ (chirpici) și ca pământ bătătorit.

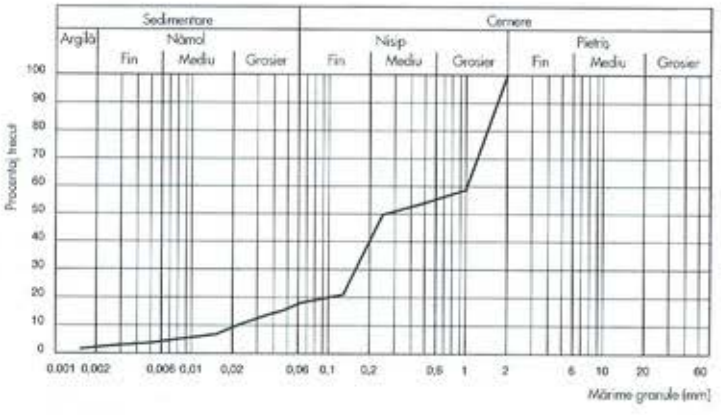
Test de consistență

Din pământ înmuiat se formează o minge cu diametrul de 2-3cm. Din această minge este rulat un fir subțire cu diametrul de 3 mm. Dacă firul se rupe sau prezintă fisuri mari înainte să atingă 3mm în diametru, amestecul trebuie puțin umezit până când firul se rupe doar când diametrul atinge 3 mm.

2.8 Distribuția granulară a testelor de lut
2.9 Mingi de lut după testul de cădere

2.8





Din acest amestec se formează apoi mingea. Dacă nu este posibil, atunci conținutul de nisip este prea mare și cel de argilă prea mic. Dacă mingea poate fi strivită între degete, atunci conținutul de argilă este mare și trebuie subțiat adăugând nisip. Dacă mingea se fărâmițează foarte repede, atunci lutul conține puțină argilă.

Test de coeziune (testul panglică)

Mostra de lut trebuie să fie doar suficient de umedă astfel încât să se poată rula un fir cu diametrul de 3mm fără rupturi. De la acest fir, este alcătuită o panglică groasă de 6mm și lungă de 20mm și ținută în palmă. Panglica alunecă apoi de-a lungul palmei, pentru a atârna cât mai mult până când se rupe (vezi *2.10*).

Dacă lungimea înainte de rupere este mai mare de 20cm, atunci înseamnă că are o forță de legătură mare, implicând faptul că există un conținut de argilă prea mare pentru construcție. Dacă panglica se rupe după doar câțiva centimetri, amestecul are prea puțină argilă. Testul este nerelevant, iar la BRL se știe că a avut o rată de eroare mai mare de 200% dacă lutul nu a fost bine fărâmițat, iar grosimea și lățimea panglicii a variat.

Din acest motiv, a fost propus un nou test mai precis, test în care mostra de 20mm lățime și 6mm înălțime a fost produsă prin presarea lutului cu degetele în șanțuri între două linii.

Suprafața e netezită prin rularea cu ajutorul unei sticle (vezi *2.11*). Pentru a preveni lipirea profilului de lut baza este unsă cu un strat subțire de plastic sau hârtie impregnată cu ulei. Lungimea panglicii, atunci când se rupe datorită propriei greutăți, e măsurată apăsând încet asupra unei forme rotunjite cu o curbă radială de 1cm (*2.11* dreapta). Pentru fiecare tip de sol, au fost luate 5 mostre și lungimile de panglici au fost măsurate la momentul ruperii.

Cea mai mare valoare la momentul ruperii din fiecare set va fi evaluată în cadrul *2.12*, comparativ cu forța de legare conformă standardului DIN 18952 (vezi p.32) cu o mică modificare: aici lungimea maximă a celor 5 mostre a fost, de asemenea, luată în considerare. Asta pentru că s-a constatat că cea mai mică valoare s-a datorat unui amestec insuficient, plasticității neconforme

sau a altor greşeli de preparare. Pentru a garanta faptul că amestecul de lut din mostre diferite este comparabil, consistenţa aleasă pentru mostre a fost stabilită la un diametru de 70mm (în loc de 50mm) a suprafeţei circulare plane, care se formează atunci când o minge test de 200g cade de la o distanţă de 2m (un diametru de 50mm nu este posibil cu un amestec de lut nisipos cu conţinut scăzut de argilă).

Testul cu acid

Lutul care conţine calcar este în mod normal aparent alb, exercită o forţă de legătură slabă şi este ca atare nepotrivit pentru construcţie. Pentru a determina conţinutul calcarului, se adaugă o picătură conţinând 20% HCl folosind o sticluţă sau o tijă de lemn. În cazul lutului cu conţinut de calcar, CO_2 este produs conform ecuaţiei $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$. Producerea acestui CO_2 este observabilă datorită eflorescenţei care rezultă; dacă nu este eflorescenţă, atunci conţinutul de calcar este mai mic de 1%. Dacă este o eflorescenţă scurtă şi slabă, conţinutul de calcar este între 1 şi 2%. Dacă eflorescenţa este puternică, dar de scurtă durată, conţinutul de calcar este de 3-4%. În sfârşit, dacă eflorescenţa este puternică şi de durată, conţinutul de calcar este de peste 5% (Voth, 1978, p.59). Trebuie precizat şi faptul că un calcar închis la culoare dintr-un lut cu un conţinut ridicat de humus poate produce acelaşi fenomen.

Efectele apei

Dacă lutul se umezeşte, se umflă şi îşi schimbă starea dintr-una solidă într-una maleabilă.

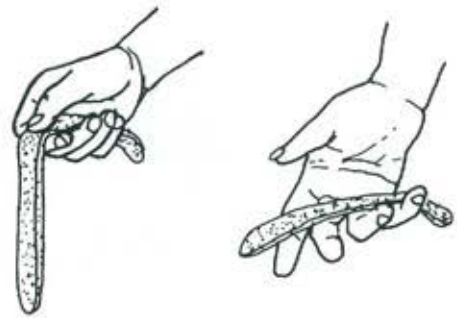
Dilatarea şi contracţia

Dilatarea lutului în contact cu apa, dar şi contracţia lui când se usucă sunt dezavantaje pentru folosirea lui ca material de construcţie. Dilatarea intervine doar în cazul în care lutul intră în contact direct cu o cantitate atât de mare de apă încât îşi pierde starea solidă. Oricum, absorbţia umidităţii din aer nu duce la dilatare. Dilatarea şi contracţia depind de tipul şi cantitatea de argilă folosită (cu argila de Montmorillonita, efectul este mult mai extins decât în cazul Kaolinitei şi illitului), şi de distribuţia granulară a nămolului şi nisipului. Experimentele de la BRL au folosit mostre de 10 X 10 X 7cm având amestecuri diferite, fiind înmuiate apoi în 80cm³ de apă şi apoi uscate într-un cuptor la temperaturi de 50° C pentru a studia crăpăturile în urma strângerii (*2.13*). Blocurile nearse fabricate industrial (*2.13* sus stânga), a căror curbă de granulaţie este indicată în *2.1* (sus, stânga), prezintă fisuri din cauza strângerii. Un amestec similar cu acelaşi fel şi aceeaşi cantitate de argilă, dar cu o distribuţie „optimă" de nămol şi nisip, se manifestă greu însă crapă după uscarea totală. (*2.13*, sus dreapta). Cărămida făcută din sol nămolos (*2.13* jos dreapta) (curba de granulaţie prezentată în *2.1*, mijloc) înfăţişează câteva fisuri fine, în timp ce cărămida făcută din sol nisipos (*2.13* jos stânga) (curba de granulaţie prezentată în *2.1*, jos) nu apar nici un fel de fisuri. În p.39 se explică modul în care micşorarea poate fi minimizată cu ajutorul distribuţiei granulaţiei.

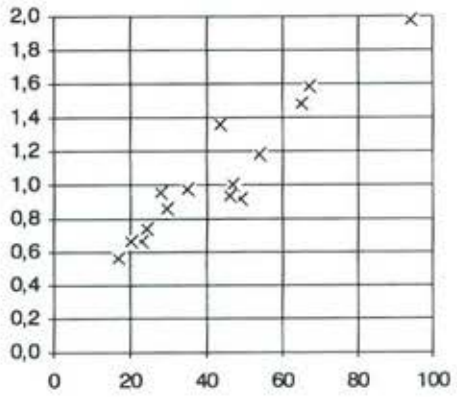
Determinarea micşorării liniare

Mostrele de lut trebuie să aibă o plasticitate comparabilă pentru a li se putea compara procentul de compactare. Standardul german DIN 18952 descrie următorii paşi necesari pentru a obţine rigiditatea standard :

1. Amestecul de lut uscat este zdrobit şi cernut pentru a elimina toate particulele cu diametrul mai mare de 2mm.
2. În jur de 1.200cm³ din acest material este uşor umezit şi bătătorit pe o suprafaţă plană pentru a produce o piesă continuă (ca o clătită groasă).
3. Aceasta este apoi tăiată în bucăţi cu lăţimea de 2cm, care sunt aşezate una lângă alta, apoi bătătorite din nou. Această procedură este repetată până când partea inferioară prezintă o structură egală.
4. Lutul cu un conţinut mare de argilă trebuie apoi păstrat 12 ore şi unul cu conţinut scăzut de argilă 6 ore, astfel încât



2.10

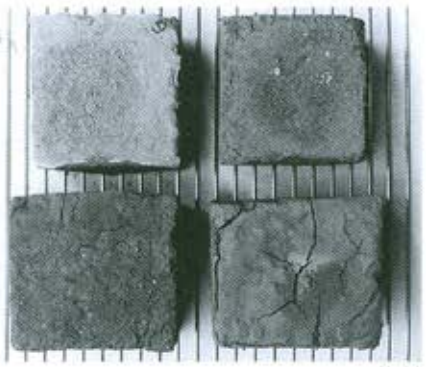


2.12

2.10 Testul panglicii
2.11 Testul coeziunii propus de BRL
2.12 Forţa de legătură a diferitelor tipuri de lut cu consistenţă egală în raport cu lungimea de ruptură, testată conform testului coeziunii propus de BRL

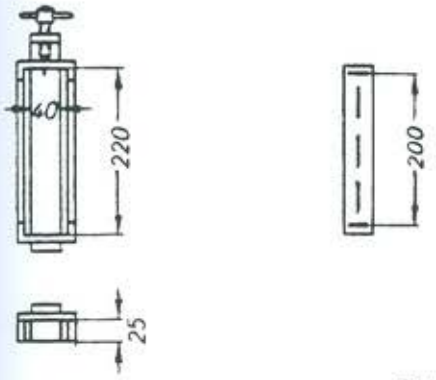
2.11

2.13 Testul de dilatare și contracție
2.14 Unelte de distingere a contracției liniare conform DIN 18952
2.15 Aparate de obținere a limitei lichide după Casagrande



2.13

conținutul de apă să fie egal distribuit în toate mostrele.
5. Din acest amestec, 200g sunt bătătorite, pentru a forma o minge.
6. Mingea este lăsată să cadă de la o înălțime de 2m pe o suprafață plană.
7. Dacă diametrul suprafeței turtite astfel format este mai mare de 50mm, se consideră că a fost atinsă rigiditatea standard. Diferența dintre cel mai mare și cel mai mic diametru nu trebuie să fie mai mare de 2mm. Altfel, tot procesul trebuie repetat până când este atins diametrul exact din cadrul testului căderii. Dacă diametrul este mai mare de 50mm, atunci amestecul trebuie uscat ușor și întreg procesul repetat până când este atins diametrul exact.
8. Dacă diametrul este mai mic de 50mm, atunci trebuie adăugate câteva picături de apă.



2.14

Cu aceste standarde de rigiditate, testul de compactare (micșorare) va fi executat după cum urmează:
1. Materialul este presat și bătătorit în mod repetat cu o bucată de lemn având secțiunea de 2 x 2cm ca în fig.*2.14*, care rămâne pe o suprafață plană.
2. Se vor face 3 mostre și forma va trebui scoasă imediat.
3. Se vor face cu cuțitul marcaje la fiecare 200mm.
4. Cele 3 mostre se vor lăsa la uscat într-o cameră timp de 3 zile. Apoi se vor încălzi până la temperatura de 60°C într-un cuptor până când contracția nu mai poate fi măsurată. DIN mai menționează că mostrele trebuie uscate pe o masă de sticlă unsă cu ulei. BRL sugerează împrăștierea unui strat subțire și uniform de nisip de-a lungul mesei pentru a uniformiza și evidența mai mult procesul de uscare, evitându-se frecările.
5.Media compactărilor celor 3 mostre în raport cu lungimea de 200mm ne dă procentajul de contracție lineară. Dacă contracția unei mostre diferă cu mai mult de 2mm de celelalte două, mostrele vor fi refăcute.

2.15

Maleabilitatea

Lutul are 4 stări de consistență : lichid, plastic, semisolid, solid. Limitele acestor stări au fost definite de cercetătorul suedez Attenberg.

Limita lichidă

Limita lichidă (LL) definește conținutul de apă la granița dintre starea lichidă și starea plastică. Se exprimă în procente și se determină urmând pașii explicați mai jos folosind instrumentul Casagrande prezentat în *2.15*:
1. Amestecul trebuie lăsat în apă pentru o perioadă mai lungă de timp (mai mult de 4 zile dacă există un conținut ridicat de argilă) și apoi trecut printr-o sită cu găuri de 0.4mm.
2. Între 50 și 70g din acest amestec care este sub formă de pastă este introdus într-un recipient rotund cu suprafețe netede. Grosimea maximă în centru va fi de 1cm.
3. Se face un șanț folosind un dispozitiv special, care va fi mereu ținut perpendicular pe suprafața recipientului rotund.
4. Întorcând mânerul la o viteză de 2 cicluri pe secundă, recipientul este ridicat și lăsat să cadă până când șanțul este închis pe o lungime de 10mm.
5. Numărul de trăsături va fi contorizat și o mostră de 5cm^3 va fi extrasă din centru pentru a determina conținutul de apă.
Când șanțul se închide la 25 de trăsături, conținutul de apă din amestec este egal cu limita pentru starea lichidă.
Schimbarea repetată a conținutului de apă până când șanțul se va închide la exact 25 de trăsături ia foarte mult timp. O metodă specială descrisă în standardul german DIN 18122 permite testului să pornească cu 4 mostre cu conținut diferit de apă, dacă numărul de trăsături este între 15 și 40. Figura *2.16* ne arată cum limita lichidă este obținută folosind aceste 4 teste. Cele 4 valori sunt notate într-o diagramă în care coordonatele orizontale semnifică numărul de trăsături în scara

logaritmică, iar coordonatele verticale ne arată conținutul de apă în procente. Limita lichidă este obținută trasând o linie prin cele 4 valori și citind valoarea interpolată care corespunde coordonatei a 25 de trăsături.

Limita plastică

Limita plastică (PL) reprezintă conținutul de apă, în procente, la limita dintre starea maleabilă și starea semisolidă. Se determină după următoarea procedură: același amestec care a fost folosit pentru definirea stării lichide este trecut manual printr-o suprafață absorbantă (carton, lemn fin sau material similar) în mici firișoare cu diametrul de 3mm. După aceea firișoarele sunt formate în recipient și rulate din nou. Procedura este repetată până când firișoarele încep să se fărâmițeze la un diametru de 3mm. Se îndepărtează din amestec în jur de 5 g și imediat firișoarele sunt cântărite și apoi uscate pentru a obține conținutul de apă. Acest test se repetă de 3 ori. Valoarea medie a celor 3 mostre care nu diferă cu mai mult de 2% este identică cu limita plastică. Așa cum limita lichidă și cea maleabilă au fost definite folosind un amestec cu particule mai mici de 0.4 mm, testul trebuie corectat dacă granule mai mari au fost cernute mai devreme. Dacă acea porțiune este mai mică de 25% din greutatea uscată a întregului amestec, atunci conținutul de apă poate fi calculat folosind următoarea formulă:

$$W_0 = \frac{L}{1-A}$$

unde W_0 reprezintă conținutul de apă calculat, L conținutul de apă determinat, LL sau PL și A greutatea particulelor mai mari de 0.4 mm exprimate în procente a greutății uscate din totalul amestecului.

Indexul de maleabilitate

Diferența dintre limita lichidă și limita maleabilă e denumită index de maleabilitate (PI). În tabelul *2.17* sunt prezentate câteva valori tipice pentru LL, PL, PI.

Numărul de consistență

Numărul de consistență (C) poate fi calculat pentru orice conținut de apă existentă în etapa plastică folosind următoarea formulă:

$$C = \frac{LL-W}{LL-PL} = \frac{LL-W}{PI}$$

Numărul de consistență e 0 la limita lichidă și 1 la limita maleabilă.

Rigiditatea standard

Cum în varianta lui Atterberg, definiția limitei maleabile nu este foarte exactă, Niemeyer propune „standardul de rigidizare" ca bază în compararea diferitelor amestecuri cu aceeași consistență. Metoda pentru obținerea acestei rigidizări este descrisă la p.24.

Alunecarea

Funcționalitatea amestecului de mortar este definit prin alunecare. Acest lucru poate fi specificat printr-o metodă descrisă în standardul german DIN 1060 (partea 3) sau DIN 1048 (partea 1). Aici, mortarul este turnat printr-o pâlnie standard pe o placă ridicată și coborâtă de un număr definit de ori. Diametrul crustei astfel formate este măsurat în centimetri și e denumit alunecare.

Limita de comprimare

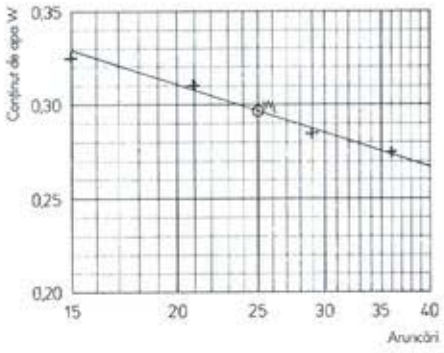
Limita de comprimare (SL) reprezintă granița dintre starea semisolidă și solidă. Este limita unde comprimările nu mai există. La un sol argilos, se poate vedea atunci când culoarea închisă a amestecului umed capătă o culoare mai deschisă datorită evaporării apei din pori. Oricum, aceasta nu e o metodă exactă de măsurare.

Acțiunea capilară

Mișcarea apei

Toate materialele cu o structură poroasă deschisă precum lutul sunt capabile să transporte apa prin propriile capilare. Apa se mișcă mereu de la regiuni cu umiditate crescută la regiuni cu umiditate scăzută. Capacitatea apei de a răspunde la aspirație în acest fel se numește capilaritate, iar procesul de transport al apei este denumit acțiune de capilaritate.
Cantitatea de apă (W) care poate fi absorbită de-a lungul unei perioade de timp dată este definită prin formula:

$$W = w\sqrt{t}\ [kg/m^2]$$

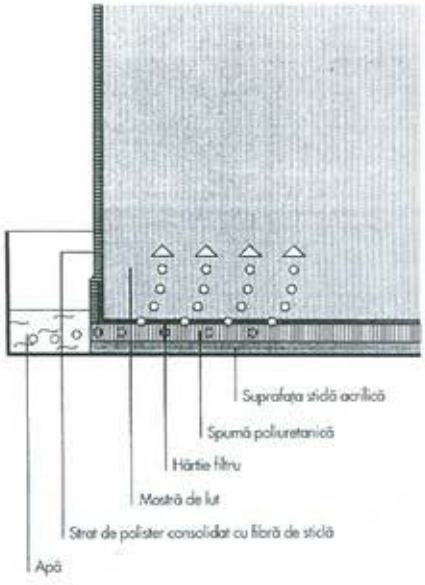


2.16

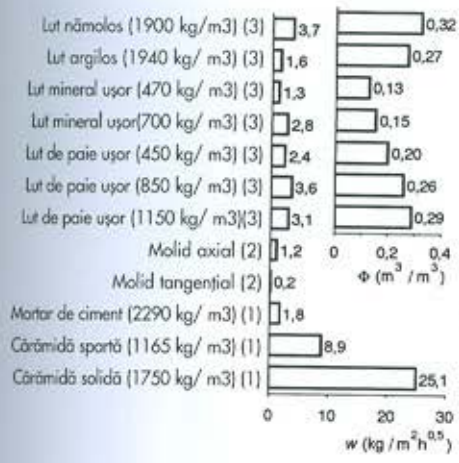
2.16 Derivarea limitei lichide prin metoda multi-punct conform standardului german DIN 18122
2.17 Indexul de plasticitate a lutului (după Voth, 1978)
2.18 Test de obținere a valorilor w pentru mostrele de lut (Boemans, 1990)

Tip de lut	LL[%]	PL[%]	PI = LL-PL
Nisipos	10 - 23	5 - 23	<5
Nămolos	15 - 35	10 - 25	5 - 15
Argilos	28 -150	20 - 50	15 - 95
Bentonită	40	8	32

2.17

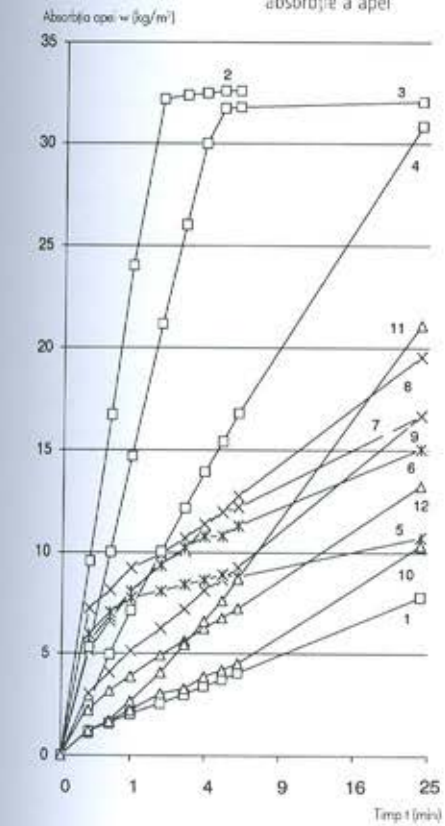


2.18



2.19

2.19 Coeficientul de absorbţie a apei 'w' a lutului în comparaţie cu materialele de construcţie obişnuite.
2.20 Curbele lutului de absorbţie a apei



1 Lut argilos + nisip
2 Lut argilos + 2% ciment
3 Lut argilos + 4% ciment
4 Lut argilos + 8% ciment
5 Lut mineral uşor 650
6 Lut mineral uşor 800
7 Lut de paie uşor 450
8 Lut de paie uşor 850
9 Lut de paie uşor 1150
10 Lut argilos
11 Lut nămolos
12 Lut nisipos

2.20

unde w este coeficientul absorbţiei apei măsurat în kg/ $m^2h^{0.5}$, iar t, timpul în ore.

Determinarea coeficientului de absorbţie a apei

Conform standardului german DIN 52617, coeficientul de absorbţie a apei este obţinut astfel :
O mostră cubică de lut este aşezată pe o suprafaţă plană şi scufundată în apă până la o adâncime de 3mm; se va măsura periodic greutatea sa. Coeficientul (w) este apoi calculat conform formulei :

$$w = \frac{W}{\sqrt{t}} [kg/m^2h^{0.5}]$$

unde W este creşterea în greutate pe unitatea de suprafaţă în timpul t scurs (exprimat în ore).
În cadrul acestui test, toate cele 4 feţe ale cubului ar trebui sigilate, astfel încât apa să nu intre prin aceste suprafeţe şi doar faţa de dedesubt trebuie să fie operativă. În ceea ce priveşte mostrele de lut, problemele sunt cauzate de suprafeţele care se umflă şi se erodează în timp. BRL a dezvoltat o metodă specială pentru a împiedica acest lucru: pentru a preveni penetrarea apei prin părţile cubului şi a evita astfel umflarea şi deformarea acestuia, mostrele sunt acoperite pe toate cele 4 părţi cu un strat de fibră de sticlă consolidat cu răşini de polyester. Pentru a evita eroziunea particulelor din zona scufundată, un filtru de hârtie este ataşat dedesubt şi lipit de partea cu răşini de polyester. Pentru a împiedica deformările în partea inferioară a lutului slăbit în timpul cântăririi, se plasează dedesubt un burete cu grosimea de 4 mm aşezat pe o placă acrilică de sticlă (vezi *2.18*). Un test cu o mostră de
cărămidă încălzită folosind ambele metode a arătat că metoda BRL reduce rezultatele cu doar 2%.
Coeficientul W al diferitelor luturi testate ca şi cel al diferitelor materiale sunt listate la *2.19*. În mod surprinzător, mostrele de sol nămolos au dat valori mai mari coeficientului W decât în cazul solului argilos. Surprinzător, comparaţia cu cărămizile încălzite a arătat că lutul are o valoare W mai mică de câteva zeci de ori.
Absorbţia apei în relaţia cu timpul este, de asemenea, foarte interesant prezentată în fig.*2.20*. Vizibil aici este efectul de creştere bruscă a absorbţiei cauzată de adăugarea unei cantităţi mici de ciment.

Capacitatea de capilaritate a apei

Cantitatea maximă de apă ce poate fi absorbită în comparaţie cu volumul sau masa unei mostre se numeşte „capacitate de capilaritate a apei" [kg/m^3] sau [m^3/ m^3]). Aceasta este o valoare importantă când luăm în considerare fenomenele de condensare din componentele de
construcţie. Figura *2.19* ne arată aceste valori împreună cu valorile w.

Testul penetrării apei după Karsten

În cadrul testului penetrării apei după Karsten, un bol de sticlă cu diametrul de 30 mm şi un cilindru de măsurare ataşat sunt fixate cu soluţie de silicon de mostră test, astfel încât suprafaţa test în contact cu apa va fi de $3cm^2$ (Karsten, 1983, vezi *2.21*).
Metoda uzuală folosind apa este problematică, atâta timp cât mostra se dizolvă la îmbinare. De aceea, BRL a modificat metoda închizând ieşirea bolului de sticlă cu un filtru de hârtie (vezi *2.21*, dreapta). Folosind această metodă s-au obţinut rezultate comparabile cu cele obţinute prin metoda dată de standardul german DIN 52617 (vezi *2.23*).

Stabilitatea în apa statică

Stabilitatea în apa statică poate fi definită după standardul german DIN 18952 (partea 2), după cum urmează: o mostră sub formă de prismă este scufundată la 5 cm adâncime în apă şi se măsoară timpul în care se dezintegrează în apă. Conform acestui standard, mostrele care se dezintegrează în mai puţin de 45 min nu sunt potrivite pentru construcţiile din pământ. Însă acest test nu este necesar având în vedere că în practică, componentele din pământ nu vor sta niciodată permanent scufundate în apă. Importantă în schimb este rezistenţa la apa curgătoare.

Rezistenţa la apa curgătoare

În timpul construcţiei, elementele construcţiei sunt adesea expuse la ploi şi eroziuni semnificative, mai ales dacă încă

sunt ude. Este important, din acest motiv, să se determine rezistența la apa curgătoare. Pentru a compara gradul de rezistență al diferitelor amestecuri de lut, BRL a dezvoltat un aparat de testare capabil să testeze până la 6 mostre simultan (vezi *2.24*). Folosind acest aparat, mostrele sunt stropite de jeturi de apă cu diametrul de 4 mm la un unghi de 45° și cu o viteză de 3.24 m/sec, simulând cele mai rele condiții de ploaie din Europa.

Ploaia și eroziunea cauzată de îngheț

Figura *2.25* ne arată 2 mostre: fiecare este prezentată înainte de testare (stânga) și după 3 ani de precipitații (dreapta). Amestecul mostrei din dreapta conține 40% argilă; cea din stânga a fost amestecată cu nisip, reducând conținutul de argilă cu până la 16%. Ambele amestecuri au fost testate având o consistență a mortarului pe un singur strat de 5cm grosime.
După uscare, au apărut largi fisuri de contracție. Amestecul argilos a arătat 11% contracție, amestecul nisipos doar 3%.
După 3 ani de expunere la condițiile meteo, solul argilos s-a cojit, din cauza înghețului. Asta s-a datorat fisurilor fine apărute în timpul uscării, prin care apa de ploaie a fost absorbită datorită capilarității. Când această apă îngheață, volumul se mărește, cauzând distrugerea straturilor superioare. În porțiuni în care nu au apărut fisuri, nu au fost observate eroziuni datorate ploii. Mostra din stânga nu prezintă acest tip de eroziune după 3 ani. Aici vedem că o parte din lut a fost spălat de ploi, așa că fisura orizontală de contracție este parțial umplută de aceste particule, dar nu se observă deloc eroziuni cauzate de îngheț. Aceasta datorită faptului că nu au fost fisuri și pentru că lutul conține pori suficient de mari pentru a permite apei înghețate să își mărească volumul. În urma testului au rezultat următoarele concluzii:
- lutul nisipos are o rezistență mică la ploaie, dar e rezistent la îngheț atunci când nu apar fisuri.
- lutul argilos tinde să capete fisuri fine și este, de asemenea, susceptibil la îngheț. Dacă nu are fisuri, este rezistent la ploaie. Cu cât porozitatea e mai mare și cu cât dimensiunea porilor este mai mare, cu atât crește rezistența lutului la îngheț. Mai mult, blocurile extrudate de argilă normale produse într-o fabrică nu sunt rezistente la îngheț și nu trebuie folosite la pereții exteriori, într-un climat cu îngheț. Prin contrast, chirpiciul făcut manual din lut nisipos este, de obicei, rezistent la îngheț.

Perioada de uscare

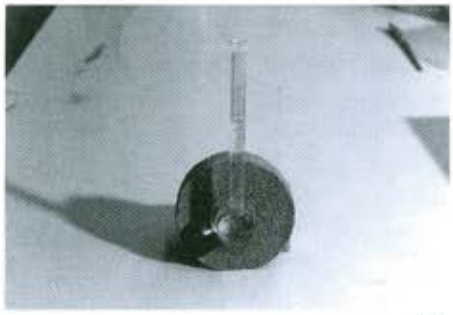
Perioada în care lutul umed atinge echilibrul conținutului de umezeală se numește „perioada de uscare". Conținutul scăzut de apă și creșterea contracției mortarului nisipos care a fost uscat într-o cameră închisă la o temperatură de 20°C și la o umiditate relativă a aerului de 81% și respectiv de 44%, este arătat în figura *2.26*. Cu o umiditate de 44%, uscarea durează în jur de 14 zile, în timp ce pentru o umiditate de 81%, uscarea durează 30 de zile.
Figura *2.27* prezintă procesul de uscare a diferitelor mostre de lut comparate cu alte materiale de construcție. În cadrul acestui test condus de BRL, mostrele de dimensiunea unei cărămizi au fost scufundate în 3 mm de apă timp de 24 de ore și ținute într-o cameră la temperatura de 23°C, umiditate 50% fără curenți de aer. În mod surprinzător, toate mostrele de lut s-au uscat în 20-30 zile, în timp ce cărămizile de argilă arsă, cele de calcar nisipos și cele de ciment s-au uscat într-o perioadă de până la 100 de zile.

Efectele vaporilor

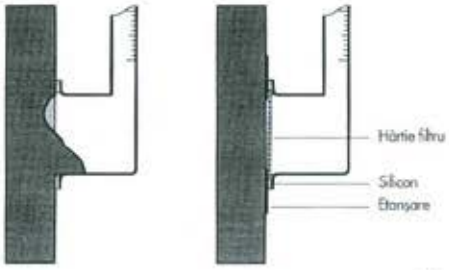
În timp ce în contact cu apa lutul se umflă și devine mai slab, sub influența vaporilor acesta absoarbe umiditatea, dar rămâne solid și își menține rigiditatea fără a se umfla. De aceea, lutul poate să echilibreze umiditatea aerului din interior, așa cum este descris în detaliu în pag.15-18.

Difuzia vaporilor

În zonele cu climat rece și moderat, unde temperaturile din interior sunt deseori mai mari decât cele din exterior, există diferențe de presiune atmosferică între interior și exterior, ceea ce cauzează mișcarea vaporilor din interior spre exterior prin pereți. Vaporii trec prin pereți, iar rezistența materialului din care sunt construiți pereții e definit ca și „coeficient de rezistență a difuziei vaporilor". E important să știm

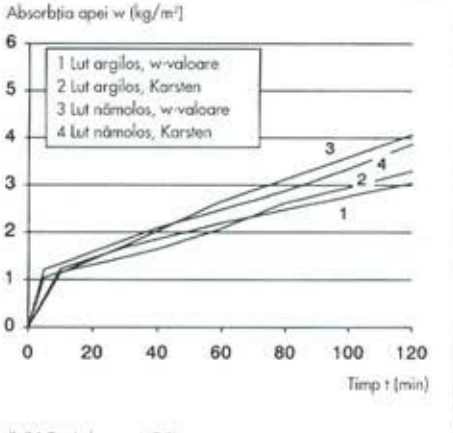


2.21

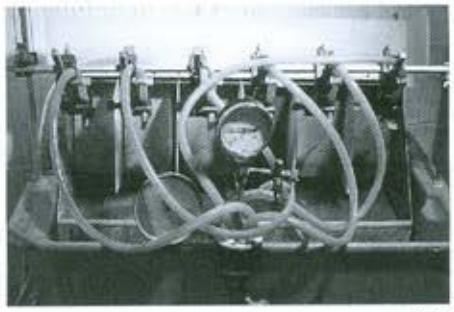


2.22

2.23



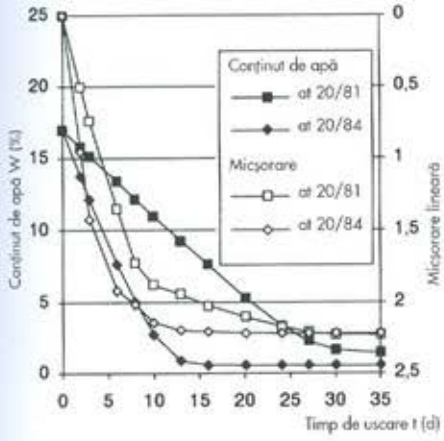
2.21 Testul penetrării apei modificate în conformitate cu BRL
2.22 Testul penetrării apei modificate în conformitate cu BRL
2.23 Absorbția apei în conformitate cu Karsten și standardul german DIN 52617



2.24

valoarea rezistenței vaporilor atunci când diferența de temperatură dintre interior și exterior e suficient de mare încât aerul din interior să se condenseze după care să se răcească în pereți.
Standardul german DIN 52615 descrie cu precizie procedura folosită pentru determinarea acestor valori. Produsul m cu grosimea elementelor s ne dă rezistența specifică a difuziei vaporilor sd. Aerul stătut are sd =1. Figura *2.28* ne arată câteva valori μ determinate de BRL pentru diferite tipuri de lut. E interesant de remarcat faptul că lutul nămolos are o valoare μ cu aproximativ 20% mai mică decât lutul argilos și nisipos și că lutul ușor cu argilă expandată cântărind 750 kg/m³ are o valoare de 2.5 ori mai mare decât a lutului amestecat cu paie și având aceeași densitate.
Capitolul 12 (p.98) descrie modul în care vopsitul reduce pătrunderea vaporilor prin ziduri.

2.26



2.25

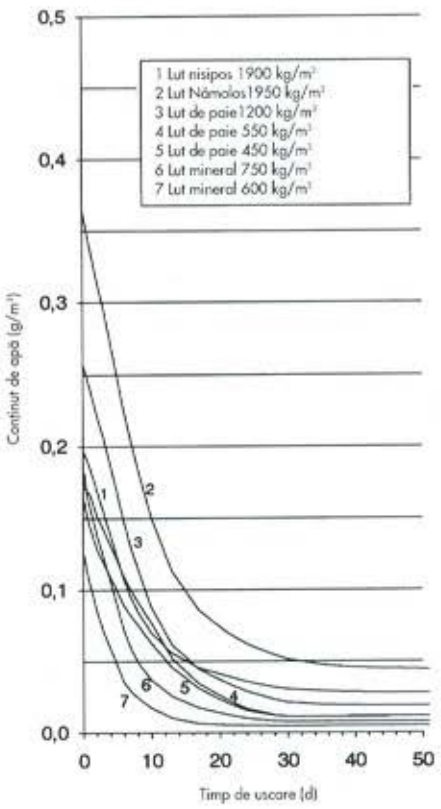
2.24 Test pulverizare apă dezvoltat de BRL
2.25 Mostre de lut înainte (stânga) și după (dreapta) expuse la vreme timp de trei ani.
2.26 Micșorare liniară și perioada de uscare a mortarului de lut (argila 4%, nămol 25%, nisip 71%) cu o cădere de 42 cm conform standardului german DIN 18555 (Partea 2).

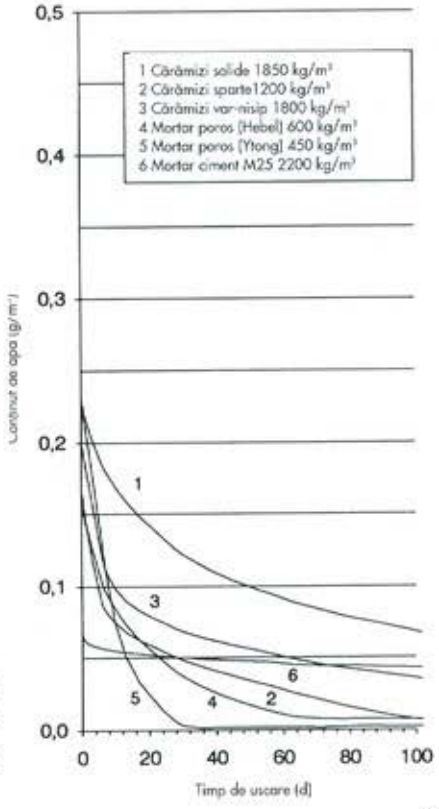
Echilibrul conținutului de îmbibare

Orice material poros, chiar și atunci când este uscat, are o caracteristică de umiditate numită „echilibrul conținutului de îmbibare", care depinde de temperatura și umiditatea ambientală. Cele mai mari nivele de temperatură și umiditate au loc atunci când materialul absoarbe foarte multă apă. Dacă temperatura și umiditatea aerului sunt reduse, materialul va respinge apa. Curbele de absorbție pentru diferite amestecuri de lut sunt prezentate în *2.29.* Valorile variază de la 0.4% pentru lut nisipos la o umiditate de 20%, până la 6% pentru lut argilos la o umiditate de 97%. E interesant de precizat faptul că paiele de secară la 80% umiditate au un echilibru al conținutului de îmbibare de 18%. În contrast, argila expandată, care e, de asemenea, folosită pentru obținerea de lut ușor, atinge echilibrul conținutului de îmbibare la o valoare de doar 0.3%. În figura *2.30,* sunt prezentate 4 valori de amestecuri de lut, comparate cu valori ale altor materiale de construcție.
Aici putem observa faptul că pe măsură ce crește conținutul de argilă din lut, crește și echilibrul conținutului de îmbibare. În plus, trebuie menționat că Bentonita, care conține 70% Montmorillonită, are un echilibru de îmbibare de 13% la o umiditate de 50%, în timp ce echilibrul de îmbibare al Kaolinitei în aceleași condiții este de doar 0.7%.
Graficul ne arată că blocurile de pământ nămolos sau chirpiciul (nr.4 în grafic) ajung să aibă un conținut de îmbibare de 5 ori mai mare decât o tencuială din lut nisipos (nr.9 în grafic) la o umiditate relativă de 58%.
Trebuie menționat, de asemenea, că pentru umiditatea materialelor de construcție, viteza proceselor de absorbție și desorbție este mult mai importantă decât echilibrul conținutului de îmbibare, așa cum este explicat în p.14.

Condensarea

În zonele cu climat rece și moderat, vaporii de apă din aerul de interior ies prin pereți spre exterior. Dacă aerul e răcit în pereți și atinge punctul de condens, atunci se produce condensarea. Umezeala reduce capacitatea de izolare termică și poate duce la creșterea ciupercilor. În aceste



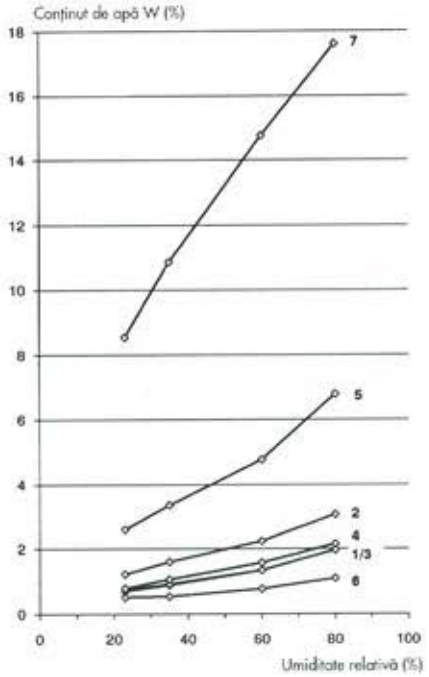


2.27

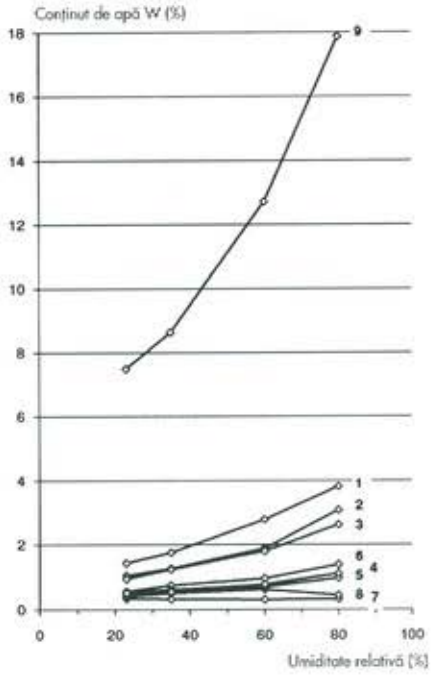
2.27 Perioada de uscare a luturilor și a altor materiale de construcție
2.28 Coeficientul μ de difuzie a vaporilor pentru diferite luturi și tencuieli conform standardului german DIN 52615, metoda udă.
2.29 Curbele de absorbție pentru lut solid (stânga) și ușor (dreapta).
2.30 Echilibrul de umezeală pentru diferite luturi și alte materiale de construcție.
2.31 Valorile U pentru lut.

2.29

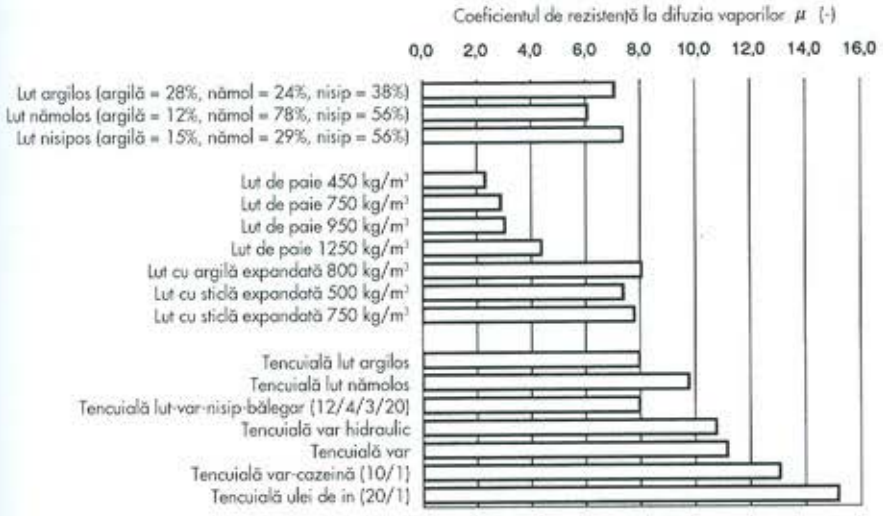
cazuri, e important ca umiditatea să fie transportată repede prin capilaritate la nivelul zidurilor, loc unde se poate evapora. De aceea sunt avantajoase materialele cu o mare capilaritate, precum lutul.
Pentru a reduce pericolul condensării în pereți, rezistența transmiterii vaporilor trebuie să fie mai mare la interior decât la exterior. Pe de altă parte, rezistența la transferul de căldură trebuie să fie mai mare la exterior decât la interior. Deși principiile de mai sus sunt suficiente pentru a împiedica formarea condensului în ziduri, e, de asemenea, posibil să se creeze o barieră pe interior prin zugrăvire.
Mai trebuie spus că, oricum, bariera de vapori are 2 dezavantaje importante:
• bariera de vapori nu e niciodată practic sigilată, în special la îmbinări, cum ar fi între fereastră și ușă sau între fereastră și tavan. În aceste locuri se pot produce condensuri grave.
• prin secțiunile monolitice de perete, apa penetrează în sezonul ploios din exterior în zid și apoi nu se poate evapora în interior datorită barierei de vapori. În acest caz, pereții rămân umezi pentru o mai lungă perioadă decât dacă nu ar exista bariera de vapori.



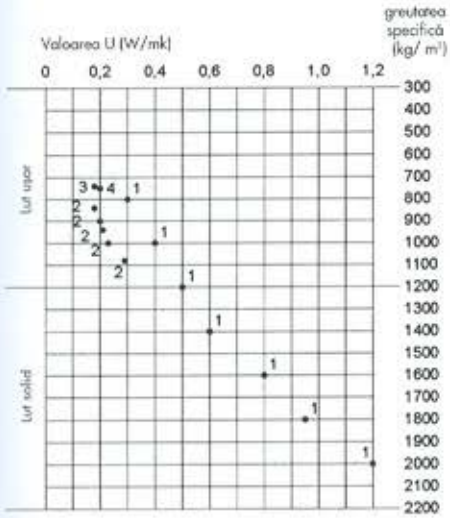
1 Lut argilos
2 Lut mâlos
3 Lut nisipos
4 Lut argilos granulat
5 Cărămida de lut
6 Kaolinită pulverizată
7 Bentonită pulverizată



1 Lut cu paie 450
2 Lut cu paie 850
3 Lut cu paie 1200
4 Lut cu argilă expandată 450
5 Lut cu argilă expandată 550
6 Lut cu argilă expandată 700
7 Particule de argilă expandată
8 Particule de sticlă expandată
9 Paie de secară



2.31

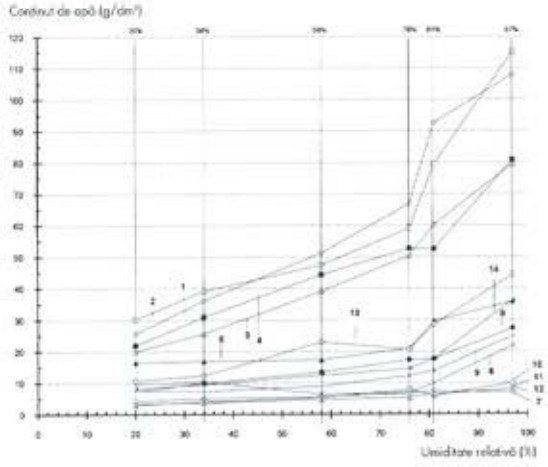


2.28

Influența căldurii

Ideea răspândită conform căreia pământul este un foarte bun material pentru izolații termice nu este dovedită. Un zid compact de pământ bătătorit, fără paie sau alte agregate ușoare are aproape aceeași capacitate de izolare ca un zid compact de cărămidă arsă.
Volumul aerului intrat în porii materialului și umiditatea sa sunt importante pentru efectul de izolație termică. Cu cât materialul este mai ușor, cu atât izolația termică este mai puternică și cu cât umiditatea este mai mare, cu atât izolația termică este mai slabă.
Căldura scursă prin elementele construcției este definită prin coeficientul U, care reprezintă transferul total de căldură.

2.30



1 Molid
2 Limba
3 Bloc de pământ, argilos
4 Bloc de pământ, nămolos
5 Tencuială ciment
6 Tencuială var-ciment
7 Tencuială var-cazeină
8 Tencuială lut nămolos
9 Tencuială lut argilos
10 Cărămizi solide
11 Cărămizi clinker
12 Cărămizi poroase
13 Cărămizi var-nisip
14 Beton poros

Conductivitatea termică

Transferul de căldură al unui material este caracterizat de conductivitatea sa termală k (W/mK). Aceasta reprezintă cantitatea de căldură măsurată în watt/m², care penetrează un zid gros de 1m la o diferență de temperatură de 1°C.

În *2.31*, valorile K diferite măsurate conform DIN 4108-4 (1998) sunt reprezentate cu cifra 1. Cu 2 sunt reprezentate cele ale lui Vanros și cu 3 și 4 cele de la BRL.
În cazul BRL, lutul având în componență și paie ușoare la o densitate de 750kg/m³ a dat o valoare K de 0.20 W/mK, în timp ce un lut argilos expandat ușor cu o densitate de 740kg/m³ a dat o valoare de 0,18W/mK.

Căldura specifică

„Căldura specifică" (c) reprezintă cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 1kg de material cu 1°C. Lutul are o căldură specifică de 1,0 kJ/kgK, care e echivalent cu 0,24 kcal/kg°C.

Capacitatea termală

Capacitatea termală(S) (capacitatea de înmagazinare a căldurii) a unui material reprezintă produsul dintre căldura specifică c și densitatea r:

$$S = c \cdot \rho \ [kJ/m^3K]$$

Capacitatea termală a căldurii definește cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 1m³ de material cu 1°C. Capacitatea de înmagazinare a căldurii Qs pentru o unitate de suprafață a unui zid, este produsul dintre S și grosimea s a elementului :

$$Q_s = c \cdot \rho \cdot c \ [kJ/m^2K]$$

Admisia și eliberarea de căldură

Viteza cu care un material absoarbe sau eliberează căldura e definită de coeficientul de difuzie b care e dependent de căldura specifică c, densitatea r și conductivitatea k:

$$b = \sqrt{c \cdot \rho \cdot k} \ [kJ/Km^2h^{0.5}]$$

Cu cât valoarea b este mai mare, cu atât penetrarea căldurii este mai rapidă.

Factorul descreștere și întârzierea

„Factorul descreștere" și „întârzierea" se referă la modul în care peretele exterior al unei clădiri reacționează la umezeală, respectiv perioada de timp în care temperatura din exterior ajunge în interior.

Un perete cu o capacitate de înmagazinare a căldurii crescută determină o întârziere mare şi o scădere a căldurii mare, în timp ce un perete cu izolaţie termică mare doar reduce amplitudinea temperaturii.
În zonele cu zile călduroase şi nopţi friguroase, unde temperatura medie este în jurul temperaturii confortabile (între 18 şi 27°C), capacitatea termală e foarte importantă pentru crearea unui climat interior confortabil. În figura *2.32*, efectul materialului şi a formei construcţiei asupra temperaturii interioare este pus în evidenţă prin intermediul a două teste de construcţii având volum construit egal, efectuate în Cairo, Egipt, în 1964.
Una dintre ele a fost construită din pereţi de pământ şi arcade din cărămizi de noroi având grosimea de 50 cm, iar cealaltă din beton cu grosimea de 10 cm grosime şi având un acoperiş plan. În timp ce variaţia de temperatură zi-noapte a fost de 13°C, temperatura din interior pentru casa din pământ a fost de doar 4°C, iar pentru cea din beton de 16°C. Astfel, amplitudinea temperaturii a fost de patru ori mai mare în casa din beton faţă de cea din pământ. În casa de beton, temperatura înregistrată la ora 4 a.m. a fost cu 5°C mai mare decât afară, în timp ce în casa de pământ temperatura a fost cu 5 grade C mai scăzută decât afară (Fathy, 1986).

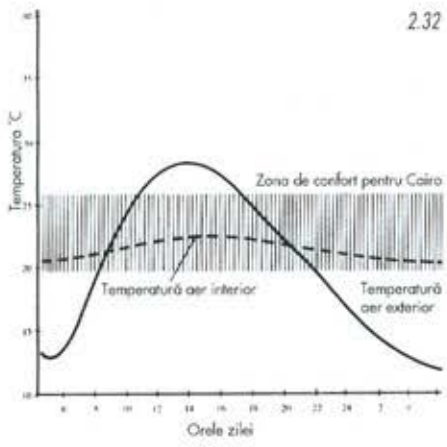
Dilatarea termică

Dilatarea materialului cauzată de creşterea temperaturii proprii este relevantă pentru mortarul de noroi pe pereţi de piatră, ciment sau cărămidă şi pentru calcar sau alt mortar pe pereţii de pământ. Coeficienţii expansiunii liniare măsuraţi de BRL pentru lut greu variază între 0.0043 şi 0.0052 mm/mK; pentru zidărie din nămol peste 0.0062 mm/mK şi pentru mortar de nămol nisipos peste 0.007 mm/mK. Mortarul de calcar uşor are o valoare de 0.005 mm/mK şi mortarul de ciment greu 0.010mm/mK, ca şi betonul Knofel (1979) şi Kunzel (1990).

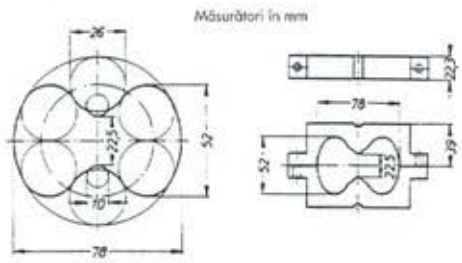
Rezistenţa la foc

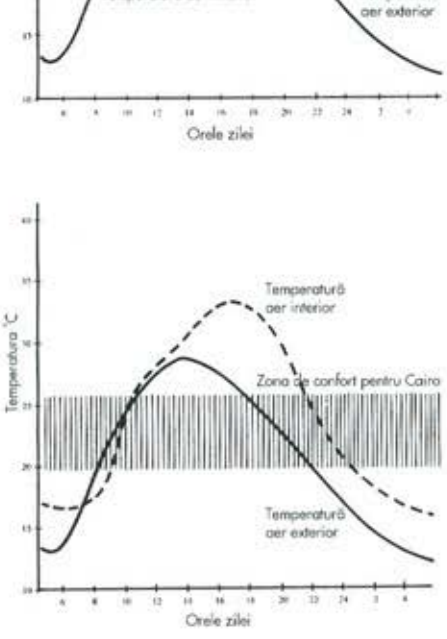
În standardul german DIN 4102 (Partea 1, 1977) lutul, chiar având în conţinut şi paie, nu este inflamabil dacă densitatea nu este mai mică de 1700kg/m^3.

2.32

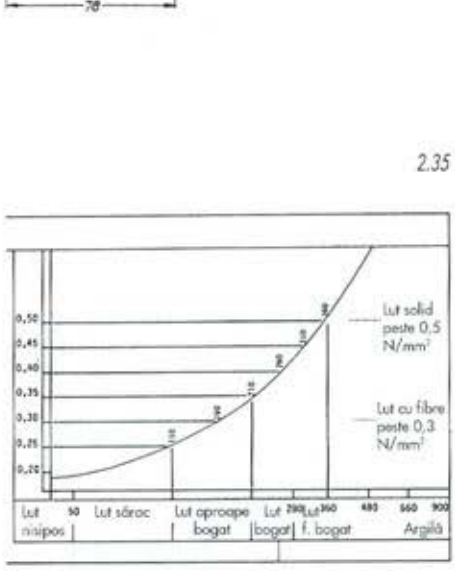


2.33





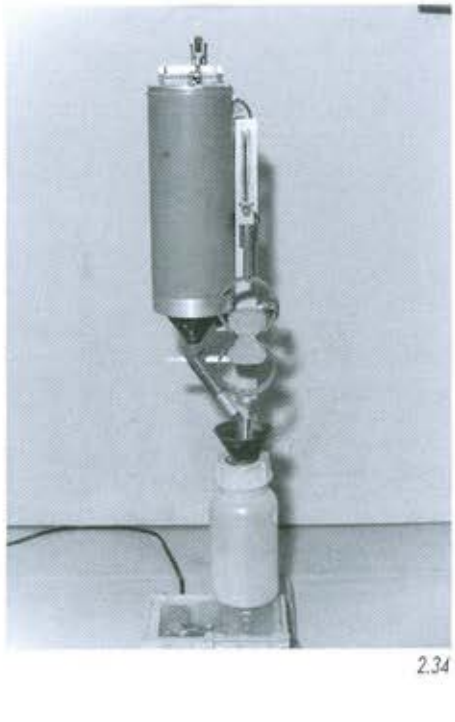
2.35



Rezistenţa

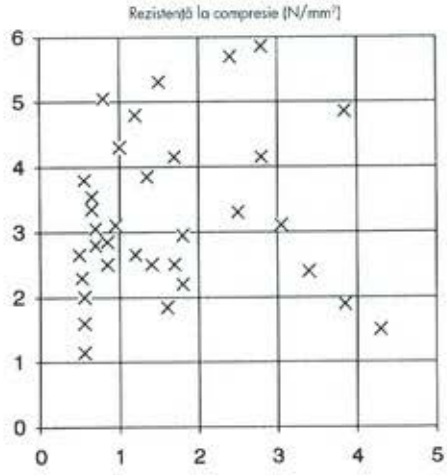
Forţa de legătură

Rezistenţa de extensie a lutului în starea plastică este numită „forţa de legătură". Forţa de legătură a lutului depinde nu numai de conţinutul de argilă, dar şi de prezenţa diferitelor tipuri de minerale argiloase. Fiind dependentă de cantitatea de apă, forţa de legătură a diferitelor tipuri de lut poate fi comparată doar dacă este vorba de acelaşi conţinut de apă. Conform standardului german DIN 18952 (Partea 2), lutul trebuie să aibă stabilită „rigiditatea standard". Modul de obţinere al acesteia este descris în acest capitol la pagina 24. Mostrele care vor fi testate vor avea o formă specială în 8 profile şi vor fi făcute dintr-un amestec cu o rigiditate standard. Mostrele sunt umplute şi bătătorite în forme cu trei straturi (vezi *2.33*). În acest mod se vor face cel puţin trei mostre din fiecare amestec, care vor fi încărcate imediat în aparatul de teste din figura *2.34*. Aici, nisipul este vărsat într-un recipient, având grijă ca viteza de vărsare să nu fie mai mare de 750g pe minut. Umplerea se



2.34

2.32 Comparație de temperaturi de interior și exterior pentru o construcție cu bolți de chirpici(sus) folosind plăci prefabricate de beton(jos) (Fathy, 1986).
2.33 Mucegai pentru prepararea mostrelor pentru testul forțelor de legătură conform standardului german DIN 18952.
2.34 Aparat test de măsurare a forței de legătură dezvoltat de BRL.
2.35 Relația dintre forțele de legătură pentru tensiunea de compresie admisă în lut, conform lui Niemeyer.



2.36

2.37

Greutate specifică	Rezistența la compresie	Forța de compresie admisă [kg/cm²]					
[kg/m³]	[kgl/cm³]	Perete	Greutate coloana/grosime				
			11	12	13	14	15
1600	20	3	3	2	1		
1900	30	4	4	3	2	1	
2200	40	5	5	4	3	2	1

2.38

	Rezistența [N/mm²]		
	Compresie	Forța de legătură	Tensiune
Cărămidă crudă A	3,5	1,1	0,4
Cărămidă crudă B	4,4	1,3	0,5
Cărămidă crudă C	6,1	1,6	0,6
Mortar D	2,02	0,69	0,21
Mortar E	2,63	0,85	0,35

2.36 Relația dintre forțele de legătură și rezistența la compresie pentru diferite luturi test, conform lui Gotthardt, 1949, și a testelor BRL.
2.37 Tensiunea de compresie admisă în luturi, conform standardului german DIN 18954.
2.38 Rezistența cărămizilor crude și ale mortarului de pământ.

va opri când mostra se sparge. Greutatea sub care mostra cedează, împărțită la secțiunea mostrei, care este de 5cm², ne dă forța de legătură. Din rezultatele astfel obținute derivă o medie ce nu poate varia mai mult de 10%. În mod tipic, valorile sunt între 25 și 500g/cm². Deși în DIN 18952, solul având o forță de legătură mai mică de 50g/cm² nu este recomandat pentru construcție, testele efectuate în Germania pe o varietate de ziduri vechi de pământ bătătorit au arătat că de fapt, unele dintre ele au o forță de legătură mult mai mică, iar una dintre mostre a avut o valoare chiar mai mică de 25g/cm².

Rezistența la compresie

Rezistența la compresie a elementelor uscate ale clădirilor făcute din pământ, precum pereții de pământ și cei de pământ bătătorit, au în general valori între 5 și 50kg/cm². Acest lucru nu depinde doar de cantitatea și tipul de argilă folosite, dar și de distribuția granulară a nămolului, nisipului și a altor agregate, ca și de metodele de preparare și compactare.

Metodele de tratament și aditivare pentru creșterea rezistenței la compresie a lutului sunt discutate în pagina 41. Afirmația lui Niemeyer din 1946 conform căreia rezistența la compresie e proporțională cu forța de legătură, mai mult, că luturile care au aceeași forță de legătură ar trebui să aibă același nivel de tensiune admisă pentru folosirea în construcții (vezi *2.35*), este dezaprobată de Gotthardt (1949) și de BRL.
Conform extrapolărilor lui Nimeyer, un lut cu o forță de legătură de 60g/cm² are o compresie admisă de 2kg/ cm², iar un lut cu o forță de legătură de 360g/cm² are o compresie admisă de 5kg/cm². Prin experimentele de la BRL au rezultat mostre de lut nămolos cu forța de legătură de 80g/cm², dar cu o rezistență la compresie de 66kg/cm², în timp ce alte mostre de argilă nămoloasă aveau o forță de legătură de 390g/cm², însă care aveau o rezistență la compresie de doar 25kg/cm². Câteva dintre aceste rezultate sunt prezentate în figura *2.36*.
Rezistența la compresie admisă pentru elementele de construcție din pământ, conform DIN 18954 este între 3 și 5kg/ cm² (vezi *2.37*). Din acest motiv, factorul de siguranță generală a componentelor din pământ este în jur de 7.
Acest lucru semnifică faptul că rezistența la compresie este de 7 ori mai mare decât tensiunea permisă în element. Luând în considerare presiunile actuale din construcția din figura *1.11*, construită în 1928 și încă în stare bună, avem cinci etaje de zid de pământ bătătorit solid, cu o compresie maximă la bază de 7.5kg/cm² (Niemeyer, 1946), valoare care nu ar fi fost permisă de DIN 18954.
În Yemen, există exemple de case din pământ care au greutatea dublă față de cea menționată mai sus. Evident, e posibil să construiești o casă de pământ de 10 etaje chiar dacă DIN 18954 permite doar două etaje. Conform standardelor indiene pentru stabilirea bucăților de sol potrivite, trebuie testată rezistența la compresie a bucăților de pământ. Aici, bucățile de pământ vor fi scufundate la o adâncime de 3 mm în apă timp de 24 de ore.

Rezistența la întindere

Rezistența la întindere sau forța de legătură a lutului în stare maleabilă a fost descrisă

în p.32. Pentru construcții din pământ, rezistența la rupere directă a unui material uscat nu este relevantă, având în vedere că structurile din pământ nu trebuie să se afle sub tensiune.
În tabelul *2.38* se arată că rezistența la întindere este în jur de 10% din valoarea rezistenței la compresie în cazul blocurilor și între 11 și 13% în cazul mortarului de pământ.

Rezistența la îndoire

Rezistența la îndoire a lutului uscat are o importanță mică pentru construcțiile de pământ. Totuși, aceasta are o oarecare semnificație atunci când se stabilește calitatea mortarului și rigiditatea blocurilor de noroi. Rezistența la îndoire depinde în principal de conținutul de argilă și de tipurile de minerale argiloase. Argila de Montmorillonită are o rezistență la îndoire mai mare decât Kaolinita. Cea mai mică valoare descoperită de Hofmann, Schembra (1967) cu Kaolinita a fost de 1,7kg/cm^2, iar pentru argila de Montmorillonită cea mai mare valoare a fost de 223kg/cm^2. Argila fără Montmorillonită, testată de Hofmann, Schembra și colab. (1967) a demonstrat că rezistența la îndoire variază între 17 și 918N/cm^2.

Rezistența legăturii

Rezistența legăturii este importantă doar în cazul mortarului de nămol.
Aceasta depinde de duritatea bazei și de rezistența la îndoire a mortarului.
În timp ce standardul german DIN 18555 (Partea 6) oferă o metodă de testare complexă standard, pentru a obține acest lucru, un test foarte simplu pentru a verifica rezistența legăturii este prezentat în figura *2.39*:
Două cărămizi arse sunt unite cu un strat de mortar gros de 2 cm, cea de sus înclinată la 90 grade față de cea de jos. După ce mortarul se usucă, cărămida de sus se așează pe un suport de piatră la ambele extremități, în timp ce cărămida de jos e încărcată cu un recipient plin cu nisip. Când mortarul cedează, greutatea cărămizii de jos și recipientul umplut cu nisip împărțit la suprafața mortarului ne dă rezistența legăturii. Oricum, acest lucru e relevant doar dacă apar erori de îmbinare. Dacă intervin erori în cazul mortarului, atunci acesta reprezintă rezistența de

2.39

2.40

rupere la întinderea directă a mortarului, care e mai mică decât rezistența legăturii.

Rezistența la abraziune

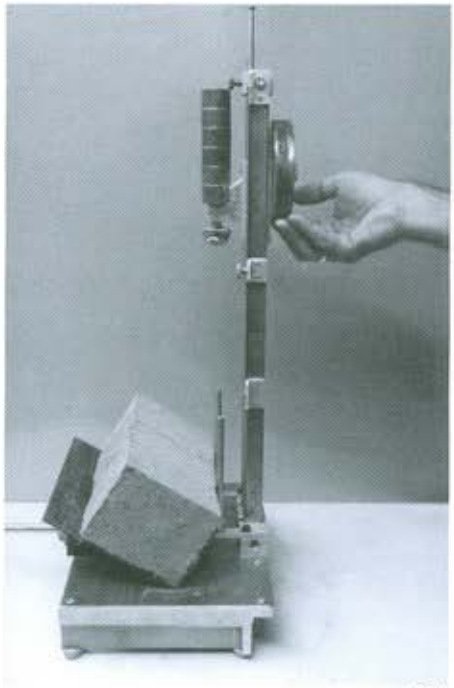
Suprafețele de lut, precum mortarul de nămol și podelele de nămol, sunt sensibile la abraziune. Un test simplu pentru abraziune va folosi o perie metalică, încărcată cu o greutate de 5kg, care se va muta de-a lungul mostrei de lut dintr-o parte în alta. Materialul ce rezultă după un anumit număr de teste este cântărit și comparat cu al celorlalte mostre. O suprafață plană acoperită cu șmirghel poate fi folosită, de asemenea, în locul periei metalice.
La BRL a fost dezvoltat un test special pentru suprafețele de lut: o perie de plastic puternică cu diametrul de 7 cm este rotită pe o suprafață plană cu o presiune de 2kg. După 20 de încercări, este cântărit totalul materialului obținut. În figura *2.40* ne este prezentat aparatul, iar în *2.41* rezultatele folosind diferite tencuieli de pământ disponibile pe piața germană.

Modulele de elasticitate

Modulele dinamice de elasticitate a lutului au, de obicei, valori cuprinse între 600 și 850kg/mm^2.

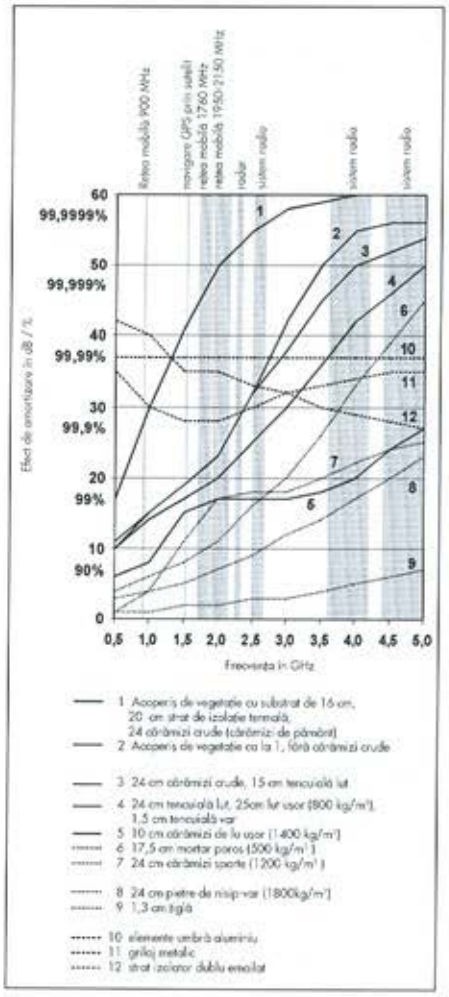
Rezistența la șoc a colțurilor

Datorită șocului mecanic, colțurile cedează cel mai adesea în timpul folosirii cărămizi-

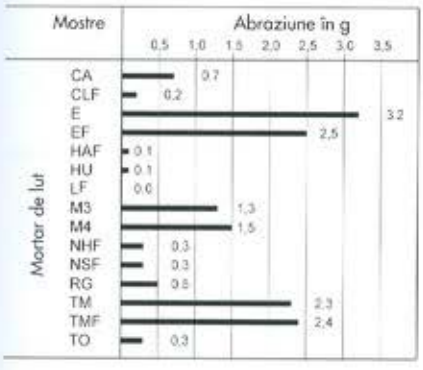


2.42

2.39 Teste de pământ pentru măsurarea forței de legătură a mortarului de nămol
2.40 Aparate test pentru măsurarea rezistenței împotriva abraziunilor, BRL
2.41 Mulțimea de abraziuni pentru diferite tencuieli de pământ.
2.42 Aparate de măsurare a rezistenței colțurilor la impactul dinamic.
2.43 Efectul de scut pentru diferite materiale de construcție împotriva radiațiilor electromagnetice de frecvență înaltă.



2.43



2.41

lor de nămol. De aceea în practică acest fel de rezistență este chiar mai importantă decât rezistența la rupere sau la compresie. La BRL a fost dezvoltat un test care măsoară acest fel de rezistență la șocuri (vezi *2.42*): o greutate este lăsată să cadă pe o suprafață înclinată la 60°, situată la 10 mm de colț. Partea de jos a greutății are forma unei semisfere de oțel cu diametrul de 30 mm.

Valoarea pH-ului

Solul argilos are, de obicei, valoarea pH-ului cuprinsă între 7 și 8.5. În zilele noastre, datorită ploilor acide, bucățile de pământ din zonele industriale pot fi puțin acide chiar imediat sub solul de la suprafață. Starea inițială previne creșterea ciupercilor (pH-ul pentru ciuperci este situat între 6.5 și 4.5).

Radioactivitatea

Măsurarea radiațiilor produse de raze beta și gamma arată că lutul are valori medii ce nu depășesc valorile betonului sau ale cărămizilor arse. Din contră, câteva cărămizi testate de autor au avut mult mai multe radiații, probabil cauzate de aditivi precum cenușa sau zgura din cuptor. Mai importante decât razele beta și gamma sunt razele alfa, emise de gazul radioactiv numit radon, precum și de derivații lui radioactivi. Razele „ușoare" nu pot penetra corpul uman, pentru că sunt absorbite de piele însă pot fi inhalate și de aceea pot cauza cancer la plămâni. Tabelul următor prezintă rata de emanare a radonului dată de OECD (1979) pentru Germania și măsurată în m becquerel/kg h .

Gips natural	25.2
Ciment	57.6
Nisip	54.0
Cărămizi argiloase arse	5.0
Cărămizi nisip-var	13.3
Beton poros	18.0

Acest tabel demonstrează că o cărămidă argiloasă provenită dintr-un sol argilos degajă foarte puțin radon.

Protejarea de radiațiile undelor electromagnetice cu frecvență înaltă

Figura *2.43* ne prezintă diferite nivele de eficacitate a materialelor de construcție solide în reducerea radiațiilor electromagnetice de mare frecvență, măsurate la Universitatea Forțelor Armate Federale din München. În jurul frecvenței de 2GHz (gigahertzi) în care majoritatea telefoanelor mobile funcționează, un zid de nămol de 24 cm grosime reduce cu 24dB (decibeli), în timp ce un zid de grosime egală făcut din pietre de var nestins nisipos absoarbe doar 7dB.

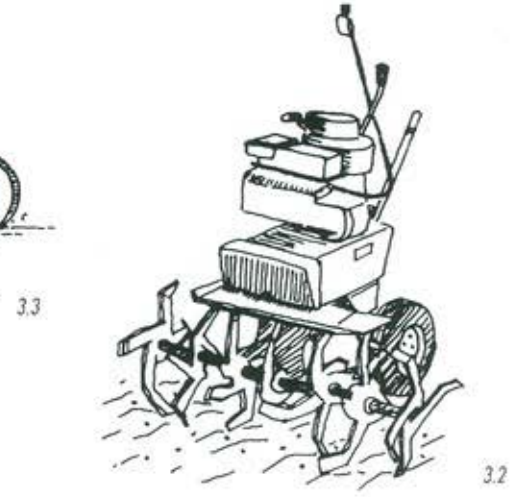
3 Pregătirea lutului

3.1

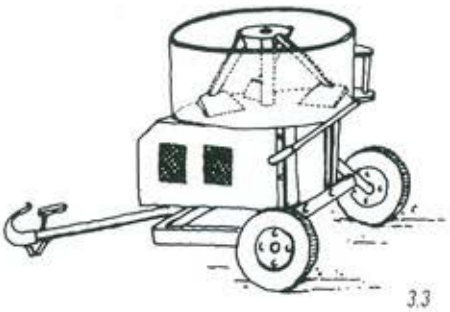
Nu e întotdeauna ușor să produci materiale de construcție din sol argilos și de aceea este nevoie de experiență pentru acest lucru. Modul de preparare depinde de tipul de pământ, consistența acestuia și aplicațiile lui. Pământul umed fărâmițat cu mai puțină argilă și mai mult nisip poate fi folosit pentru a construi ziduri de pământ bătătorit, chiar pe măsură ce este dezgropat. Bulgării de pământ argilos cu un conținut ridicat de argilă nu pot fi folosiți ca material de construcție; ei trebuie mai întâi măcinați, dizolvați în apă și subțiați cu nisip. Acest capitol descrie diverse metode de preparare a pământului pentru diferite aplicații.

Uscarea, concasarea și amestecarea

Există câteva metode de fabricare a materialelor de construcție folosind bulgării de pământ. Una din metodele cele mai simple de reducere a dimensiunilor bulgărilor și de obținere a unei consistențe adecvate fără efort este introducerea bulgărilor de pământ în apă pentru ca aceștia să devină maleabili. Bulgării de lut sunt așezați în recipiente mari plate într-un strat de 15-25 cm și apoi acoperiți cu apă. După 2-4 zile, se obține o masă fină care poate fi ușor modelată și amestecată manual, cu picioarele sau cu ajutorul mașinilor, împreună cu agregate, precum nisipul sau pietrișul. În zonele cu climat rece, unde înghețul este suficient de puternic, se folosește metoda tradițională de a stoca pământul înmuiat la o înălțime de 20-40cm astfel încât să înghețe pe timpul iernii și să intervină dezintegrarea datorită propagării apei înghețate.
Cel mai ușor mod de preparare a amestecului de lut potrivit se obține amestecând lutul umed cu o sapă sau înmuindu-l cu picioarele. Se mai poate folosi și forța animală. În cadrul aceleiași operațiuni se mai pot adăuga și paie, nutreț, nisip și alți aditivi.
La laboratoarele BRL ale Universității Kassel din Germania a fost construită o roată de noroi (*3.7*), în care două perechi de roți de cauciuc de camion vechi au fost umplute cu beton și folosite la prepararea amestecului. Roțile au fost ridicate pe o grindă orizontală fixată pe un stâlp central vertical



3.2



3.3

3.5

3.4

3.1 Instrument de amestecare folosit de BRL, Kassel
3.2 Instrument pentru cultivarea grădinii
3.3 Mixer
3.4 Mixer de mortar cu role
3.5 Mixer cu dispozitiv de încărcare
3.6 Mixer pentru lut (Heuser)
3.7 Mixer electric manual
3.8 Concasor electric

și pus în mișcare de un tractor, de un animal sau de om.
Dacă se adaugă o cantitate adecvată de apă, un metru cub de lut brut pentru construcții poate fi produs în 15 minute (cu ajutorul a 2-3 oameni pentru a pune înapoi în camion surplusul de noroi). Dacă există un tractor, este mult mai ușor și eficient să se împrăștie pământul și să se treacă repetat peste el.
Pentru cantități mici, este foarte utilă o mașinărie precum cea din fig.*3.2*.
Tehnologia modernă de construcție folosind pământul utilizează aparate de amestecat puternice.
Aici, amestecul se realizează cu ajutorul rotirii brațelor care sunt fixate fie pe verticală (*3.3*), fie pe orizontală (*3.6*). Este folositor și un dispozitiv mecanic de umplere a acestui mixer, după cum se arată în fig.*3.5*.
Aparatele vechi de amestecare a mortarului pot fi folosite, precum cele cu bobine rotative, ca în fig.*3.4*. Aparatul din fig.*3.6*. a fost special făcut pentru prepararea lutului din orice fel de sol (produs de firma germană Heuser).
O metodă rapidă de preparare a lutului din bulgări uscați de pământ argilos este de a-i fărâmița într-un aparat (fig.*3.8*).
Acesta are unghiuri de fier fixate pe o placă orizontală care se rotește cu 1440 de

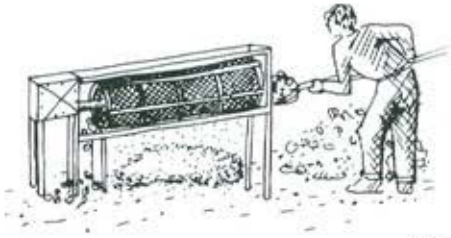
3.6

3.8

3.7

3.9

3.10



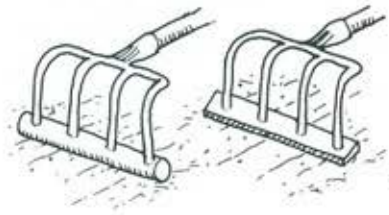
3.11

3.9 Concasor (Ceratec)
3.10 Concasor (Royer)
3.11 Dispozitiv cu site
3.12 Greble pentru prepararea noroiului de lut

rotații pe minut și necesită un motor electric de 4kW. Acest aparat nu funcționează dacă bulgării sunt umezi. Un alt exemplu poate fi văzut în fig.*3.9*, aparținând firmei Ceratec, din Belgia, care e capabilă să zdrobească până la 20m^3 de bulgări în 3 ore cu un motor de 3CP. În acest aparat, bulgării sunt zdrobiți de 2 cilindri care se învârt în direcții opuse. Aparatul din figura *3.10* al firmei Royer din Franța poate să zdrobească până la 30m^3 de bulgări de pământ în 8 ore.
Este important ca amestecul gata preparat să fie scos rapid din recipient. Există mai multe moduri de a face acest lucru: aparatul din fig. *3.5* are o deschidere la fund prin care amestecul poate fi împins automat într-o roabă, în timp ce rezervorul din aparat poate fi basculat astfel încât să ajungă în roaba plată din partea inferioară. Mixerele obișnuite de beton în care doar tamburul se rotește nu sunt potrivite pentru prepararea amestecului de lut, pentru că în el bulgării de pământ se compactează în loc să se spargă.
Un aparat electric ca cel din fig. *3.7* necesită mult timp pentru amestecare și este recomandat doar pentru cantități mici.

Cernerea

Pentru tehnicile de construcție cu pământ specifice, poate fi necesară cernerea particulelor mari. Cea mai simplă metodă este cernerea materialului uscat printr-o sită. Un aparat mult mai eficient este cel care are o sită sub formă de cilindru, rotit manual sau de un motor.



3.12

Prepararea noroiului

Pentru a îmbogăți un sol nisipos cu argilă sau pentru a prepara un lut ușor, este nevoie de noroi. Acesta poate fi preparat cel mai ușor din lut uscat sub formă de praf amestecat cu apă. Dacă vor fi folosiți bulgări de sol argilos, aceștia vor fi așezați în recipiente mari și acoperiți cu apă pentru câteva zile. După aceea, noroiul poate fi obținut folosind greble speciale, ca în fig. *3.12* sau folosind aparate electrice manuale ca în fig. *3.10*.

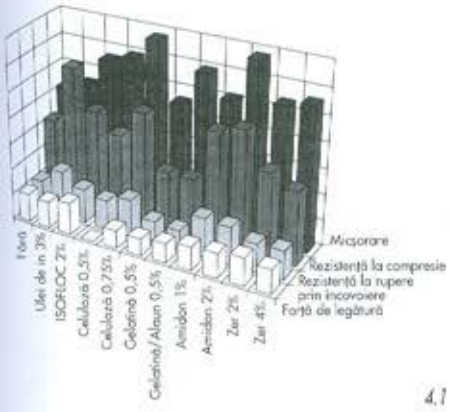
Conservarea apei

Conservarea apei este un proces ce permite amestecului de lut umed să se păstreze pentru o perioadă de 12-48 ore. Experiența a demonstrat că acest proces mărește forța de legătură a lutului. Fenomenul se datorează atracției electrochimice dintre diferitele minerale argiloase, fenomen ce determină o mai mare compactare a acestora.

Subțierea

Dacă este prea argilos, lutul trebuie subțiat. Prin introducerea nisipului sau a pietrișului se va mări rezistența la compresie a lutului. Agregatele vor fi întotdeauna umezite înainte de a fi amestecate cu lutul bogat. Pot fi folosite, de asemenea, și materiale precum nisipul, pietrișul fin, părul, bălegarul, nuiele, paiele, pleava sau rumegușul. Toate aceste materiale reduc compactarea; unele dintre ele ajută la creșterea gradului de izolație termică.

4 Îmbunătățirea caracteristicilor pământului prin tratare specială sau cu aditivi



4.1

4.1 Influența diferiților aditivi asupra contracției, forței de legătură, tensiunii de încovoiere și forței de compresie a unui lut nisipos. *4.2* Reducerea contracției prin adăugare de nisip și lut argilos. 4.3 Reducerea contracției prin adăugare de nisip și lut nămolos.

Ca regulă generală, este necesară modificarea proprietăților lutului pentru aplicații specifice. Însă, după cum se poate observa în fig.*4.1*, adaosurile care pot îmbunătăți anumite proprietăți le pot afecta pe celelalte. Spre exemplu, rezistența la încovoiere și compresie poate fi crescută adăugând amidon și celuloză, dar acești aditivi reduc forța de legătură și cresc gradul de contracție, ceea ce reprezintă un dezavantaj.

Reducerea crăpăturilor provocate de contracție

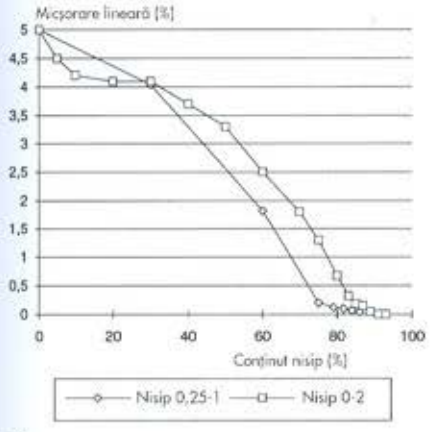
Eroziunea avansată produce crăpături în suprafață lutului care este expusă la ploaie. Așa cum s-a descris și în cap.2 (pag.22), strângerea din timpul uscării depinde de conținutul de apă, de tipurile și cantitățile de minerale argiloase și de distribuția granulației agregatelor.

Subțierea

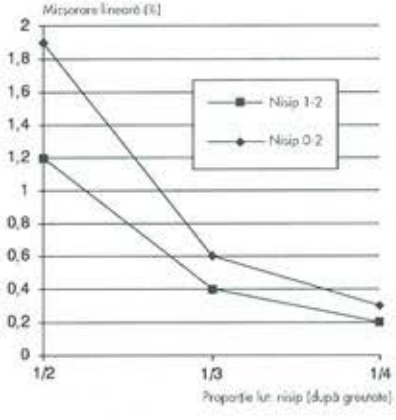
Adăugarea nisipului sau a altor agregate mari la lut reduce conținutul relativ de argilă și deci și procentul de contracție. Rezultatele acestei metode sunt prezentate în *4.2.* și *4.3.* În *4.2*, un lut cu 50 % argilă și 50% nămol a fost amestecat prin creșterea cantității de nisip până când procentul de micșorare s-a apropiat de 0. Pentru a se putea compara, toate mostrele testate au avut o rigiditate standard (vezi cap.2, p.24). Interesant de remarcat este faptul că un procentaj de strângere de 0.1% este atins la un conținut de 90% nisip având diametrul de 0-2 mm, în timp ce același procentaj a fost atins mai devreme, când nisipul avea diametrul între 0,25-1 mm la un conținut de 80%. Un efect similar poate fi văzut în fig.*4.3* cu lut nămolos, unde prin adăugarea de nisip (cu diametrul de 1-2mm) s-a obținut un rezultat mai bun decât cel al nisipului normal (cu diametrul de 0-2 mm).
Fig.*4.4* ne arată influența diferitelor tipuri de argilă: o serie subțiată cu granule de nisip de 0-2 mm cu 90-95% kaolinită pură, alta cu bentonită, având 71% montmorilonită și 16% ilită.

Compuși de subțiere

În industria ceramică, compușii de subțiere a lichidelor sunt folosiți pentru a obține o lichiditate sporită, permițând astfel folosirea unei cantități mai mici de apă (pentru a reduce strângerea). Compușii de subțiere sunt silicatul de sodiu ($Na_2O - 3\text{-}4SiO_2$), soda (Na_2CO_3), acidul de humus și acidul tanic. Testele efectuate de BRL la Universitatea Kassel au demonstrat că aceste metode nu au fost relevante pentru pământul ca atare, ci mai ales pentru pământul ca material de construcție. Testele cu zer au fost însă foarte bune.



4.2



4.3

Adăugarea de fibre

Procentajul de contracție a lutului poate fi redus prin adăugarea de fibre, cum ar fi păr de om sau animal, fibre de nucă de cocos, sisal, agava, bambus sau paie tăiate. Efectul obținut este reducerea conținutului relativ de argilă și absorbția unei cantități de apă în porii fibrelor. Datorită faptului că fibrele sporesc forța de legătură a amestecului, se reduc fisurile. Câteva rezultate ale testelor de la BRL sunt prezentate în *4.5*.

Măsurători structurale

Cea mai simplă metodă de reducere a crăpăturilor cauzate de contracție în cazul elementelor de construcție din pământ este reducerea lungimii lor și prelungirea timpului de uscare. În timpul producerii cărămizilor de noroi, spre exemplu, este important ca acestea să fie întoarse vertical și ferite de razele soarelui și de vânt pentru a garanta un proces lent de uscare egală. O altă metodă adecvată este conceperea unor legături de strângere ce pot fi închise separat și prin care se evită crăpăturile de strângere necontrolate (vezi cap. 5, p.56; 8, p.76; și 14, p. 113).

Stabilizarea împotriva eroziunii apei

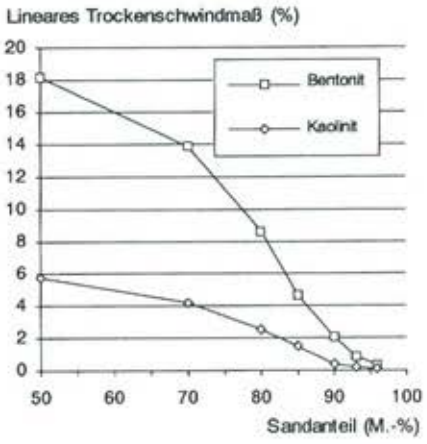
În general nu este necesar să se intervină pentru creșterea rezistenței la apă a elementelor de construcție făcute din pământ. Dacă, spre exemplu, un zid de pământ este ferit de ploaie prin acoperiș sau placări verticale, și împotriva umidității crescute a solului prin fundație cu ajutorul unei hidroizolații orizontale (care e necesară chiar și pentru zidurile de cărămidă arsă), nu este nevoie de adăugarea de stabilizatori. Dar pentru tencuielile de lut expuse la ploaie și pentru elementele expuse în timpul construcției, adăugarea stabilizatorilor ar putea fi necesară. Teoretic, un strat de vopsea rezistentă la apă e suficient pentru protecție, dar la suprafață apar adesea crăpături cauzate de acțiuni mecanice. În plus, există pericolul ca apa de ploaie să penetreze lutul și să provoace umflări și eroziuni ale acestuia. Regula empirică spune că cimentul și bitumul ca stabilizatori sunt buni pentru lutul cu conținut scăzut de argilă și varul ars pentru lutul argilos. Oricum, această regulă nu ține cont de tipul de argilă. De exemplu, argila de Montmorillonită și Kaolinită reacționează diferit, conform descrierii din cap. 4, p.45. Stabilizatorii acoperă mineralele din argilă și opresc intrarea apei care poate să le umfle.
În acest capitol sunt descriși stabilizatorii obișnuiți folosiți până în prezent. Alți stabilizatori care în primul rând cresc rezistența la compresie sunt menționați în acest capitol, în p.45 și p.47. Rezistența la apă poate fi, de asemenea, crescută prin schimbarea distribuției granulației de nămol și nisip, așa cum a demonstrat autorul folosind trei cărămizi de nămol (p. 46) peste care s-au varsat zece litri de apă în timp de două minute.
Cărămida din mijloc cu conținut ridicat de nămol a prezentat eroziuni mari, cu o adâncime de până la 5 mm. Cărămida din dreapta, cu un conținut ridicat de argilă (-30%) a prezentat eroziuni adânci de până la 3 mm; cărămida din stânga cu același conținut de argilă, dar mai puțin fin și mai nisipos, a prezentat eroziuni foarte mici.

Stabilizatori minerali

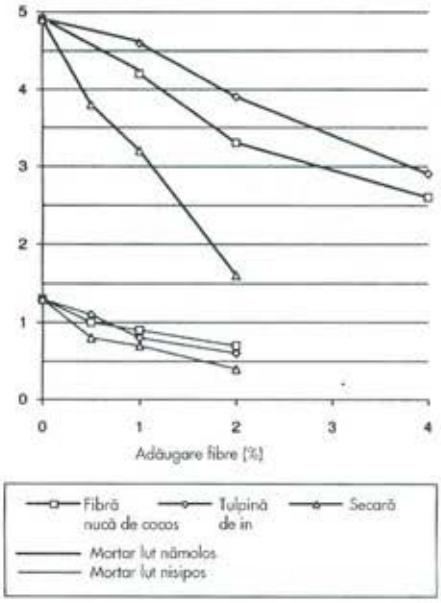
Cimentul

Cimentul acționează ca un stabilizator asupra apei, în special în cazul solurilor cu conținut scăzut de argilă. Cu cât conținutul de argilă este mai mare, cu atât crește și cantitatea de ciment necesară producerii efectului de stabilizare.
Cimentul influențează forța de legătură a argilei și de aceea e posibil ca rezistența la compresie a pământului stabilizat cu ciment să fie mai mică decât a aceluiași amestec fără ciment, așa cum e prezentat în acest capitol, p.45.
Ca și în cazul mortarului, rezistența maximă la apă a blocurilor de lut stabilizate cu ciment este atinsă după 28 de zile.
Aceste blocuri trebuie tratate cel puțin șapte

4.6



4.4



4.5

4.4 Reducerea contracției prin adăugarea de nisip la Kaolinită și Bentonită.
4.5 Procentul de contracție a lutului prin adăugarea de fibre.
4.6 Teste de eroziune pe cărămizi crude

zile și nu trebuie uscate prea devreme. Dacă nu sunt protejate împotriva razelor solare și a vântului, blocurile de pământ trebuie pulverizate cu apă în timpul conservării.
Pentru a grăbi și spori procesul de conservare, se pot adăuga 20-40g de hidroxid de sodiu (NaOH) la fiecare litru de apă.
Efecte similare pot fi obținute cu 10g de $NaSO_4$, Na_2CO_3 și Na_2SiO_2 la fiecare litru de apă utilizat.

Var

Dacă există suficientă umiditate, atunci are loc un schimb de ioni în cadrul lutului, având varul ca stabilizator. Ionii de calciu ai varului sunt schimbați cu ionii metalici ai argilei. Ca rezultat, intervin aglomerații puternice ale particulelor fine, ce împiedică penetrarea apei. Mai mult decât atât, varul reacționează cu CO_2 în aer pentru a forma piatră de var.
Conținutul ideal de var pentru lut diferă și trebuie testat în avans pentru fiecare caz în parte. Explicațiile din p.43 arată faptul că, dacă o cantitate mică de var este adăugată, rezistența la compresie poate fi mai mică decât lutul nestabilizat.

Bitumul

În Babilon, bitumul a fost folosit pentru stabilizarea blocurilor de nămol înainte de secolul 5 î.Hr. În mod normal, bitumul este eficient pentru lutul cu conținut scăzut de argilă.
Efectul de stabilizare este mai pronunțat dacă amestecul este comprimat. Pentru acest lucru, bitumul este dizolvat în apă cu un emulgator precum gaz lampant, parafină sau petrol.
E preferabil să se folosească un amestec de 4 până la 5 părți de bitum, o parte ulei de parafină și 1% parafină care este preparată prin încălzirea la 100°C. În mod normal, între 3% și 6% din această soluție e suficientă pentru stabilizarea solului. După ce solventul și apa se evaporă, se formează o peliculă ce lipește particulele de lut, în felul acesta prevenind intrarea apei.

Silicatul de sodiu

Silicatul de sodiu ($Na_2O \cdot 3\text{-}4\ SiO_2$) este un bun stabilizator pentru lutul nisipos, dar trebuie diluat cu apă în proporție de 1 la 1 înainte de a fi adăugat. Altfel, vor apărea mici crăpături ce vor genera absorbția apei.

Produse animale

Produsele animale precum sângele, urina, bălegarul, cazeina au fost folosite de-a lungul secolelor pentru stabilizarea lutului. În vremurile îndepărtate, sângele de oaie era folosit ca agent de stabilizare și de legătură. În Germania, suprafețele podelelor de pământ bătătorit erau tratate cu sânge de oaie, obținând rezistență la abraziune și la ștergere. În multe țări, zerul și urina sunt folosite cel mai des ca stabilizatori pentru suprafețele din lut.
Dacă se folosește bălegar, acesta trebuie păstrat 1-4 zile pentru a se produce fermentația; efectul de stabilizare este considerabil sporit datorită schimbului de ioni între mineralele din argilă și bălegar. În India, tencuiala tradițională de lut are un conținut ridicat de bălegar de vacă, ce permite păstrarea umezelii pentru cel puțin o jumătate de zi. Această metodă este de actualitate. Investigațiile de la BRL au arătat că o mostră de tencuială de lut supusă testului cu jet (capitolul 2, pag. 28) s-a erodat după patru minute, în timp ce o mostră cu 3,5% de bălegar de vacă prezintă semne de eroziune doar după patru ore.

Produse animale și minerale

În vremurile îndepărtate, adăugarea de var și bălegar, var și zer era un lucru uzual pentru a spori rezistența împotriva apei.
Conform unei rețete tradiționale, spre exemplu, se amestecă o parte de pudră de var cu o parte de lut nisipos, care se înmoaie timp de 24 de ore în urină de cal, după care se poate folosi pentru tencuială.
Evident, varul reacționează chimic cu câteva elemente ale urinei până ce se face observabilă apariția unor cristale fine.
Cazeina din urină și bălegarul reacționează cu varul pentru a forma calciul albuminat (insolubil în apă).
Celuloza din urină și bălegar sporește forța de legătură, iar fibrele de celuloză o consolidează. Compușii de amoniac acționează ca un dezinfectant împotriva microorganismelor.
Alte două rețete testate cu succes la BRL sunt :
(a) o parte var hidraulic, patru părți balegă de vacă umedă, veche de trei zile și opt părți de lut nisipos, sau
(b) patru părți de var hidratat, o parte de brânză albă grasă și zece părți de lut nisipos.

Produse din plante

Sucurile din plante ce conţin uleiuri, latex şi derivaţi din plante precum sisal, agava, banana şi *Euphorbia herea*, de obicei în combinaţie cu varul, sunt folosite cu succes în multe ţări ca strat de stabilizare.
Investigaţiile de la BRL au arătat că un grad ridicat de protecţie împotriva apei poate fi obţinut pentru suprafeţele de lut folosind ulei de in dublu rafinat.
E de menţionat faptul că, oricum, în aceste cazuri, difuzia vaporilor este puternic redusă (vezi cap. 2, p. 29). Câteva rapoarte arată că amidonul preparat şi melasa pot fi, de asemenea, folosite pentru a spori stabilitatea. Acest efect este mult mai pronunţat dacă se adaugă şi o cantitate mică de var.

Stabilizatori artificiali

Răşinile sintetice, parafinele, ceara sintetică şi latexul sintetic sunt cunoscute ca având un efect de stabilizare a lutului.
Totuşi, datorită faptului că astfel de produse sunt relativ scumpe, expuse la degradare ultravioletă şi pentru că acţionează ca o barieră de vapori, nu sunt discutate şi analizate în detaliu în această carte.
Aceşti stabilizatori trebuie testaţi înainte de a fi folosiţi. Silanul, răşina cu consistenţă siloxanică, siliconul, esterul de siliciu şi acrilaţii au o rezistenţă mare la apă.
Aceştia sunt discutaţi în detaliu în cap.12, p.101.

Creşterea forţei de legătură

Proveniența forţei de legătură a fost deja descrisă în cap.2, p.32. În mod normal, nu este necesară o forţă de legătură anume atunci când este folosit lutul ca material de construcţie.
Însă, dacă forţa de legătură este insuficientă, aceasta poate fi crescută prin adăugarea de argilă sau printr-o mai bună preparare, cum ar fi fărâmiţarea şi păstrarea apei (vezi cap.3, p.38). Produsele minerale, animale şi din plante sunt, de obicei, adăugate pentru a spori rezistenţa lutului la apă, sporind, în acelaşi timp, şi forţa de legătură; în unele cazuri însă o pot şi reduce.
În această parte se explică diferitele metode prin care poate creşte forţa de legătură.

4.7

4.7 Test cu mingi în căderea pentru a demonstra diferitele forţe de legătură.
4.8 'FullerParabola' modificată (Boemans, 1989).

Amestecarea şi păstrarea apei

E interesant de observat faptul că, în funcţie de metodele de preparare, diferite mostre de lut provenite din acelaşi amestec pot avea forţe de legătură diferite. Dacă este suficientă apă pentru preparare, atunci fărâmiţarea, agitarea şi păstrarea sporesc forţa de legătură.
La BRL s-a descoperit faptul că după amestecarea ce a durat zece minute într-un mixer de laborator, mortarul obţinut a dobândit o forţă de legătură cu 57% mai mare decât acelaşi amestec mixat timp de un minut. Totuşi, s-a înregistrat o reducere cu 11% a forţei de legătură după 20 de minute, fapt ce sugerează existenţa unui timp de amestec optim. Creşterea forţei de legătură datorită unui timp mai mare de preparare este demonstrată printr-un simplu test.
Fig.*4.1.* ne prezintă două mingi de pământ având diametrul de 5 cm, acestea căzând de la o înălţime de 2 m pe o suprafaţă plană dură. Ambele au aceeaşi consistenţă, determinată de limita elastică. Mingea din stânga a fost amestecată timp de două minute, cea din dreapta timp de zece minute. O comparaţie arată că mostra care a fost amestecată mai mult prezintă mult mai puţine deformări şi tinde să crape mai puţin.

Creşterea conţinutului de argilă

O metodă simplă pentru sporirea forţei de legătură pentru amestecul de pământ subţire este adăugarea de pământ cu un conţinut mare de argilă sau chiar argilă pură. Cel mai avantajos este dacă argila este disponibilă sub formă de praf şi amestecată cu lutul umed. În unele ţări, Bentonita este disponibilă în saci, ca şi cimentul. Aceştia conţin 80-90% argilă pură şi au 70% Montmorillonită. Densitatea uscată a prafului este în jur de 800kg/m^2. Trebuie reţinut şi faptul că, în timp ce Montmorillonita are o rezistenţă la întindere foarte

mare, are în același timp și o dilatare și o contracție ridicate.
Deseori e mai ușor să iei praf de argilă de la furnizorii din industria ceramică.
Bulgării de pământ bogați în argilă trebuie ținuți în apă pentru a forma noroi și apoi amestecați în lut cu ajutorul unui mixer (vezi cap. 3).

Aditivi

Forța de legătură a lutului subțire poate fi mărită cu zer, brânză albă grasă, brânză proaspătă, urină, bălegar, ulei de in dublu rafinat, sau clei de cazeină și var.
Rezultatele trebuie testate de fiecare dată înainte de a folosi acești aditivi în cadrul construcției. Câteva date obținute la BRL sunt prezentate în fig. *4.1*.

Creșterea rezistenței la compresie

Lutul pentru construcții are în mod normal o rezistență la compresie între 20 și 50 kg/cm^2. Tensiunea de compresie pentru ziduri, conform standardului german DIN 18954 este între 3 și 5 kg/cm^2. Practic, foarte rar este necesară creșterea rezistenței la compresie, acest lucru fiind necesar în cazul elementelor asupra cărora se exercită o tensiune mare, folosite în structuri mai înalte de două etaje (care oricum nu sunt permise de majoritatea standardelor).
În cazul componentelor de pământ, rezistența marginală împotriva impactului este foarte importantă și adesea trebuie sporită. Rezistența colțurilor la rupere depinde de tensiunea, dar și de rezistența la îndoire. Această „rezistență marginală la impact" este foarte importantă în timpul construcției, când cărămizile și blocurile sunt transportate, mutate și depozitate.
Rezistența la compresie a unui tip de lut depinde în principal de distribuția granulară a solului, conținutul de apă, compactarea statică sau dinamică și tipurile de minerale prezente.
Dacă nisipul și particulele de pietriș au fost distribuite astfel încât să ofere un volum compact minim, iar spațiile intergranulare ale nisipului și pietrișului sunt complet umplute cu nămol și argilă, atunci se atinge densitatea maximă (implicit rezistența la compresie).

Distribuția granulară optimă

E cunoscut faptul că rezistența la compresie a unui amestec poate fi sporită doar optimizând și variind proporția de nămol, nisip și particule de pietriș, dar fără a crește conținutul de argilă.
În tehnologia betonului, se vorbește de o distribuție granulară ideală, „parabola Fuller," dată de expresia:

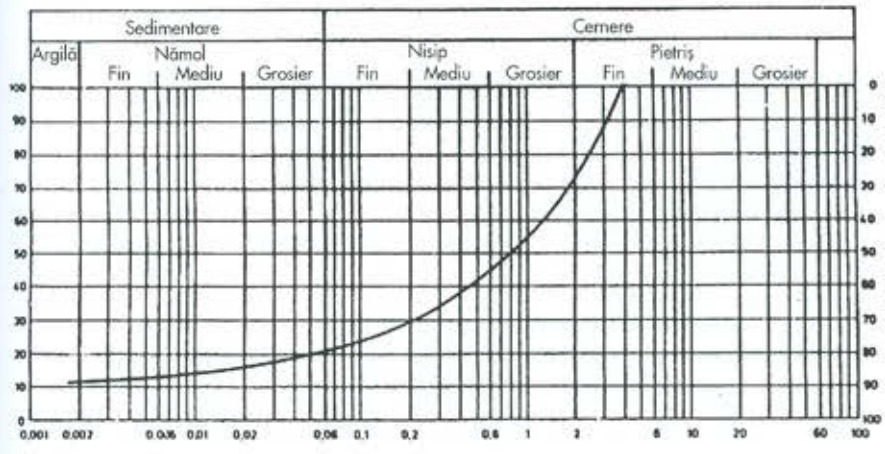
$$a = 100\sqrt{\frac{d}{D}}$$

unde a este greutatea tuturor granulelor cu diametrul mai mic de d exprimate ca proporția dintre masa totală care are cea mai mare granulă cu diametrul D.
Boemans a semnalat că formula nu poate fi utilizată direct în construcțiile de pământ, atâta timp cât conținutul de argilă este de doar 2-3%, care e evident puțin pentru construcțiile de pământ (Boemans, 1989).
El a afirmat că această formulă este valabilă doar pentru particule mai mari de 0.002mm și pentru un conținut de argilă de minim 10%. Această modificare ne duce la expresia:

$$a_{10} = 100\sqrt{\frac{d}{D}} + 10$$

Curba derivă din această formulă modificată pentru o mărime maximă a granulelor de 4mm (vezi fig. *4.8*)

4.8



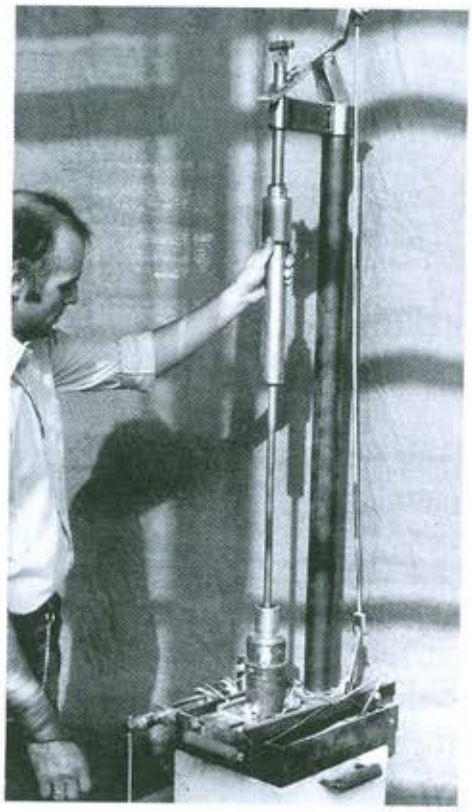
Prepararea

Rezistența la compresie a amestecului este afectată de tipul și cantitatea preparatului, precum și de proporția de apă folosită, fapt care nu este nici bine cunoscut, nici suficient cercetat.
La Institutul de Tehnologie a Clădirilor de la Institutul Federal Elvețian al Tehnologiei din Zürich și la BRL s-a dovedit faptul că un lut puțin umed, care nu prezintă bulgări și este comprimat într-o presă pentru blocuri

de pământ, prezintă de obicei o rezistență la compresie mai mică decât același lut combinat cu suficientă apă, amestecat cu mâna. Într-unul din experimentele de la BRL chirpiciul făcut manual a avut, în medie, o rezistență la compresie cu 19% mai mare decât dacă ar fi fost produs cu o presă de blocuri de pământ ce imprimă o presiune de 20kg/cm^2 materialului.
Ideea multor cercetători și practicieni conform căreia folosirea presei pentru blocuri de pământ ar determina creșterea rezistenței la compresie ar putea fi adevărată doar pentru cazuri izolate, însă de regulă nu se întâmplă așa.
„Secretul" lutului constă în structura lamelară a diferitelor minerale din cadrul argilei și în atracția electrică internă a acestora, care este activată doar de apă și mișcare. Acest lucru înseamnă că frământând lutul în stare maleabilă, mineralele din argilă pot să se unească într-o structură mai densă, în straturi paralele, căpătând atunci când se usucă o puternică tensiune și rezistență la compresie. Folosind aparatul de compactare prezentat în *4.9* dezvoltat de BRL pentru testarea mostrelor cu o densitate egală definită, mostrele cilindrice produse au avut diametrul de 76 mm și o înălțime de 100 mm. Mostrele au fost apoi compactate cu zece lovituri cu greutăți de 4,5 kg fiecare, care au lovit mostrele căzând de la o înălțime de 0.45m. Volumul a fost compactat astfel de la 30% la 40%. Același pământ nămolos a fost amestecat cu apă într-un amestecător mecanic timp de 2 minute, respectiv 15 minute, și apoi turnat într-o formă cilindrică de aceeași dimensiune sub formă de pastă. După uscare, mostra care nu a fost compactată a avut o rezistență medie la compresie cu 28%, respectiv 38% mai mare față de cele care au fost bătătorite.
Acest test demonstrează faptul că preparerea poate să fie mult mai relevantă pentru mărirea rezistenței decât presarea. Oricum, trebuie menționat faptul că mostra descrisă mai sus a fost din nămol, această diferență nefiind importantă în cazul lutului cu conținut ridicat de argilă sau nisip.

Compactarea

Compactarea lutului sub forța statică pentru a-i crește rezistența la compresie este în general mai puțin eficientă decât



4.9

bătătorirea prin lovituri cu maiul sau vibrații (cu ajutorul forțelor aplicate dinamic).
Când un obiect greu cade peste el, sunt generate valuri ce determină particulele de pământ să vibreze. Acest lucru creează mișcare, fapt ce permite particulelor să se aranjeze într-o configurație densă.
Mai mult decât atât, dacă este suficientă apă, mineralele din argilă au proprietatea de a forma structuri paralele, mai dense și mai ordonate datorită forțelor electrice, rezultând astfel și sporirea rezistenței la compresie și a forțelor de legătură.
Tabelul *4.10*, bazat pe diferite teste efectuate de BRL, ne arată comparația eficacității compactării dinamice față de cea statică. Aici se poate vedea cum rezistența la compresie a unui lut nisipos sub presiune constantă pentru zece secunde și vibrând la 3000 rotații pe minut este crescută cu 14%.
Pentru fiecare metodă de preparare, există un conținut optim de apă ce poate fi determinat doar prin teste.
Conform standardului german DIN 18127, conținutul optim de apă se atinge atunci când se ajunge la o densitate uscată maximă. Compactarea se va face cu un ciocan Proctor. Pentru a obține cantitatea de apă optimă, mostrele cu conținut diferit de apă sunt compactate și astfel li se determină densitatea. Cantitatea de apă ce

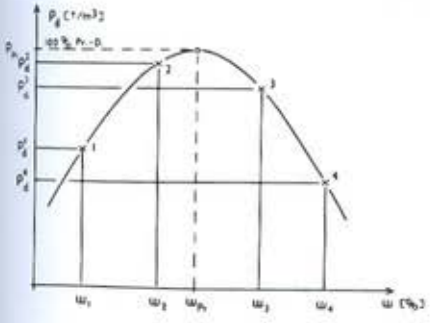
4.9 Aparate de compactare pentru mostre de sol dezvoltate de BRL
4.10 Rezistența la compresie după compactarea statică și dinamică a lutului nisipos (argilă 15%, nămol 29%, nisip 56%) și a lutului nămolos (argilă 12%, nămol 74%, nisip 14%)
4.11 Derivarea curbei Proctor cu o metodă multi-punct (Voth, 1978)
4.12 Curbele Proctor a unui lut nămolos cu și fără adăugare de var (Voth, 1978)

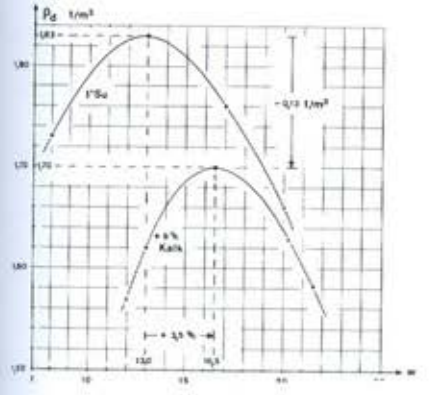
Lut	Greutate specifică [kg/m^3]	Vibrații [rpm]	Rezistența compresie [N/mm^2]
nămolos	2003	0	3.77
	1977	1500	4.11
	2005	3000	4.17
nisipos	2003	0	263
	2009	1500	2.91
	2024	3000	3.00

4.10

determină densitatea maximă este definită ca fiind conținutul optim de apă.
Curba obținută prin conectarea acestor puncte este numită „Curba Proctor" (*4.11*).
În construcțiile de pământ, totuși, densitatea maximă, compactarea respectiv conținutul optim de apă nu sunt determinante.
Conținutul optim de apă nu determină implicit și rezistența maximă la compresie și nici nu este cel mai important parametru.
Din contră, cei mai importanți parametri sunt maleabilitatea și forța de legătură; din acest motiv, este recomandat ca lutul folosit să nu aibă un conținut optim de apă, cum ar fi cel pentru DIN 18127, ci un conținut de apă puțin mai mare decât cel optim determinat. De fapt, conținutul optim de apă trebuie considerat practic un conținut minim de apă. În blocurile de pământ compactate s-a dovedit că un conținut de apă cu 10% mai mare decât cel optim a dat rezultate mai bune decât acesta.
Boemans a afirmat că acel conținut optim de apă nu rezultă în cazul unei rezistențe maxime la compresie. El a descoperit, de asemenea, că dacă este mai multă apă și mai puțină comprimare, aceeași rezistență la compresie poate fi atinsă ca atunci când folosim mai puțină apă și o comprimare mai mare (Boemans, 1989, p.60 ff).
La Laboratoarele de Geomateriale din cadrul Școlii Naționale de Lucrări Publice de Stat (ENTPE) din Vaulx-en-Velin, Franța, s-a descoperit faptul că tipul mineralelor din cadrul argilei influențează, de asemenea, rezistența la compresie după compactare. De exemplu, crescând presiunea statică de la 2 la 8 MPa când se produc blocuri de pământ cu ajutorul presei, rezistența la compresie crește cu 50% pentru Kaolinită și cu 100% pentru Montmorillonită (Oliver, Mesbah, 1985).

4.11



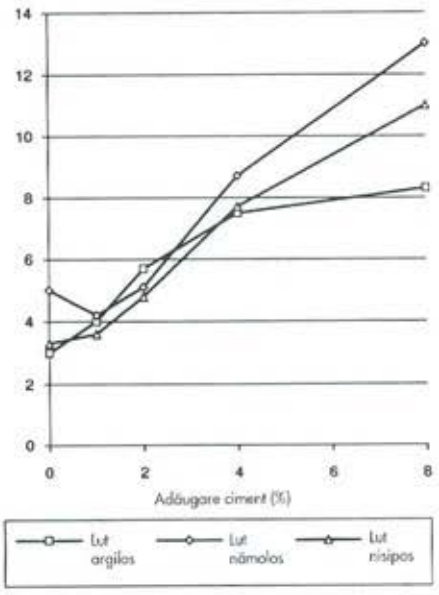


4.12

Aditivi minerali

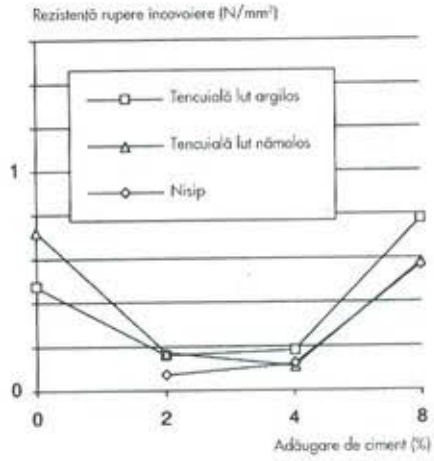
Lutul argilos uscat poate să aibă o rezistență la compresie mai mare prin adăugarea de Montmorillonită. La BRL, testele au fost efectuate cu nisip neîmbogățit de 17% din greutatea de Kaolinită și respectiv Bentonită (Bentonită conține în jur de 70% Montmorillonită). Cu Kaolinita, rezistența la compresie a ajuns la 5 kg/cm^2 și cu Bentonită la 12 kg/cm^2.
Adăugarea de var și ciment determină în mod obișnuit creșterea rezistenței la apă a lutului și, de asemenea, creșterea rezistenței la compresie.
După cum s-a descris aici, rezistența la compresie poate fi micșorată de acești aditivi, mai ales când aceștia sunt folosiți în cantități mai mici de 5%. Acest lucru se întâmplă datorită faptului că varul și cimentul interacționează cu forța de legătură a mineralelor din argilă. Cu cât conținutul de argilă este mai ridicat, cu atât trebuie adăugat mai mult var și ciment. Testele au arătat că varul oferă o stabilizare mai bună în cazul lutului argilos, în timp ce cimentul dă rezultate mai bune cu celelalte tipuri de lut.
În plus, cimentul e mult mai eficient cu Kaolinită și varul cu Montmorillonită.
În practică, e recomandat să se efectueze mereu teste relevante. În acest caz, trebuie respectați următorii pași:
1. Când lutul este stabilizat cu puțin ciment sau var, un anumit număr de pori rămân deschiși. În principiu doar punctele de contact ale particulelor mai mari se unesc, nu toate zonele libere ca în cazul betonului.
2. Când cimentul este hidrogenat, se formează calciul. Acesta intră în contact cu acizii de silicat ai mineralelor din argilă astfel încât în plus față de stabilizarea determinată de ciment, intervine și un întăritor de lungă durată. Spre deosebire de mortarul de ciment, rezistența lutului stabilizat cu ciment crește puțin chiar și după 28 de zile.
3. Când se adaugă var hidraulic, are loc un schimb de ioni între mineralele din argilă și ionii de calciu, acest lucru durând între patru și opt ore. Procesul de întărire suplimentar cauzat de reacția varului hidratat cu dioxidul de carbon din aer e de lungă durată.
Chiar și după câteva luni, se pot observa mici creșteri a rezistenței. O cantitate bine determinată de umiditate este esențială în procesul de conservare, astfel ca lutul să fie protejat de o uscare prea rapidă datorată vântului și soarelui.
4. Conținutul optim de apă este crescut prin adăugarea de var, în timp ce densitatea noului nivel optim este mai mică decât fără var (*4.12*).
Rezultatele experimentelor de la BRL (*4.13*) arată că rezistența la compresie a unui lut nămolos conținând 12% argilă, 74% nămol și 14% nisip, având o rezistență la compresie de 50 kg/cm^2 fără ciment, descrește prin adăugarea de mici cantități

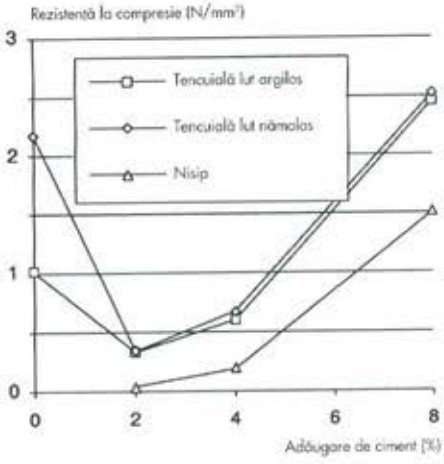
de ciment. Rezistența la compresie inițială poate fi atinsă iar prin adăugarea de 2% ciment. După cum se poate vedea în *4.14*, rezistența inițială se ridică la 4% când se adaugă var. În acest caz, descreşte iar după stabilizarea cu 6% var.
Şi mai importantă este reducerea rezistenței la compresie în funcție de tipul lutului, așa cum ne arată *4.15* în dreapta.
În partea din stânga a aceleiași figuri, sunt prezentate schimbările rezistenței și tensiunii la îndoire.
Valorile rezistențelor la compresie pentru chirpiciul umed și uscat făcut manual cu conținut diferit de ciment sunt prezentate în *4.16*.
Investigațiile de la ENTPE ne arată că testând Kaolinita pură cu 4% ciment, rezistența la compresie crește, în timp ce în cazul Montmorillonitei cu aceeași cantitate de ciment, aceasta scade.
Prin adăugarea de 4% var și 2% ciment, rezistența la compresie a ambelor tipuri de argilă este crescută cu aproape 100% (Oliver, Mesbah, 1985).
Trebuie menționat că aceste teste au fost făcute folosind conținutul optim de apă și argilă pură. Oricum, în practică această creștere poate să nu fie atât de mare, lutul folosit în construcții având un conținut de argilă între 5-15% și neputând fi folosit cu conținut optim de apă. Rezultatele testelor de la BRL cu chirpiciul făcut manual sunt prezentate în *4.17* și *4.18*.
Aici, patru amestecuri diferite de nisip și argilă au fost testate prin adăugarea a 6% ciment și respectiv var. E interesant de notat faptul că rezultatele au fost aproape identice în cazul nisipului pentru tencuieli și a nisipului cu Bentonită.
Prin adăugarea de var în aceste amestecuri, rezistența la compresie a lutului de Kaolinită este chiar mai scăzută decât dacă ar conține nisip (*4.18*).
Din aceste investigații, s-a ajuns la următoarele concluzii:
1. Lutul cu conținut ridicat de Kaolinită trebuie stabilizat cu ciment (și nu cu var).
2. Lutul cu conținut ridicat de Montmorillonită trebuie stabilizat cu var sau cu un amestec de var și ciment în proporție de 2:1 (și nu cu ciment).
3. Compactarea puternică crește semnificativ rezistența la compresie a Montmorillonitei. Efectul este semnificativ la Kaolinită. CRATerre sugerează stabilizatori corespunzători la limita lichidă, limita plastică și indexul de plasticitate (*4.19*), neținând cont de tipul de minerale din argilă (CRATerre, 1979).
Când se adaugă ciment la lut, amestecul trebuie să fie folosit imediat, înainte să înceapă reacțiile cimentului cu celelalte elemente.
Dacă amestecul stă timp de câteva ore înainte să fie presat în blocurile de pământ, rezistența la compresie a acestora poate să se reducă cu până la 50%. Oricum, dacă este adăugat var, această întârziere nu influențează negativ rezistența finală. Dacă se adaugă mai puțin de 5% ciment, procesul de uscare afectează rezistența la compresie.
Dacă blocurile de pământ sunt expuse la vânt și soare, acest lucru determinând uscarea lor mai rapidă, atunci rezistența lor la compresie poate fi redusă cu până la 20% în comparație cu cele ținute acoperite.



4.13

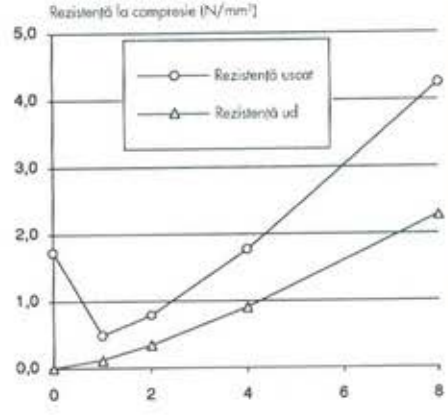
4.15

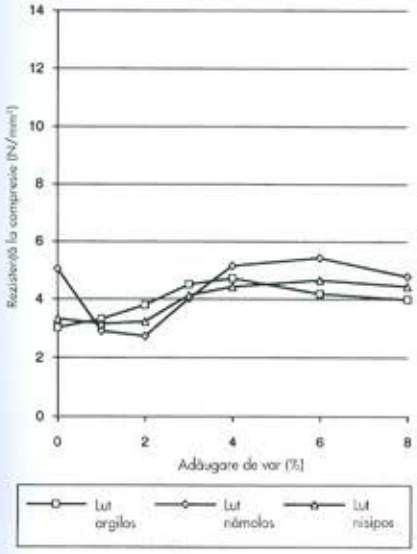




4.16

Dacă nu este posibil acest lucru, atunci acestea trebuie stropite cu apă de câteva ori pe zi. Când se adaugă 10% ciment, această protecție are mai puțină relevanță pentru rezistența finală (Houben, Guillaud, 1984).
Dacă se adaugă pozzolana împreună cu var, apare un efect de stabilizare suplimentar și cantitatea de var poate fi redusă. Anumite cenuși vulcanice au proprietăți pozolanice, precum resturile proceselor de ardere cenușă zburătoare și cenușă din coji de orez.
Praful de cărămidă ce rezultă în urma cărămizilor arse la temperaturi joase prezintă de asemenea, slabe proprietăți pozolanice, spre deosebire de cel obținut la





4.14

4.13 Schimbări de rezistență la compresie a diferitelor tipuri de lut prin adăugarea de ciment.
4.14 Schimbări de rezistență la compresie a diferitelor tipuri de lut prin adăugarea de var.
4.15 Schimbări de tensiune de încovoiere și rezistență la compresie a diferitelor tipuri de lut și nisip prin adăugarea de ciment.
4.16 Schimbări de rezistență la compresie a cărămizilor de lut (argilă 11%, nămol 14%, nisip 75%) prin adăugarea de ciment
4.17 Rezistența la compresie a diferitelor tipuri de lut și nisip prin adăugarea a 6% ciment

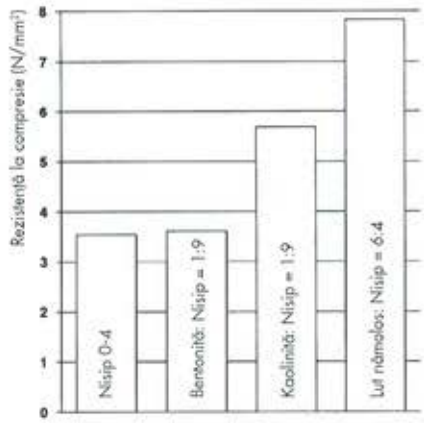
temperaturi ridicate din cărămizi din plante industriale. Un efect de stabilizare interesant este observat atunci când argila, creta și praful de cuarț sunt amestecate cu apa. Acest produs, numit geopolimer, provine din policondensare: o rețea 3D, care apare în stare alcalină cu eliberare de apă. Acest produs poate fi extrudat, presat sau în formă de spumă cu peroxid de hidrogen (HP).

Aditivi organici

Rezistența la compresie și a forței de legătură a Kaolinitei poate fi substanțial crescută prin adăugarea ureei și a acetatului de amoniu (Weiss, 1963). Weiss, de asemenea, a sugerat ca marea rezistență a porțelanului vine de la Kaolinită înmuiată în urina putrezită (care conține uree și acetat de amoniu).Tensiunea forței de legătură poate fi crescută de 10-20 de ori.

Adăugarea de fibre

Fibrele sunt adăugate pentru a reduce contracția. Presupunerea conform căreia fibrele cresc în orice situație rezistența la compresie este falsă. Atunci când sunt adăugate fire fine de păr în cantități mici, tensiunea și implicit rezistența la compresie crește ușor. Adăugarea de paie tăiate are efectul opus, așa cum ne arată investigațiile de la BRL (vezi tabelul *4.20*).



4.17

Rezistența la abraziune

Experimentele de la BRL care au avut ca scop creșterea rezistenței mostrelor de pământ bătătorit conținând 14% argilă, 41% nămol și 45% nisip, cu adăugare de apă, grăsimi animale, brânza albă puțin grasă, var, parafină, parafină-petrol, ceară și ulei de in dublu rafinat, au arătat că adăugarea a 10% apă produce cea mai rezistentă suprafață. Oricum, apar câteva crăpături, permițând apei să penetreze.
A doua oară rezistența maximă a fost atinsă prin adăugarea a 5% de ulei de in; suprafața a fost netezită cu o mistrie în timpul conservării și, deși au apărut crăpături fine, acestea au fost suficient de mici, pentru ca suprafața să fie per ansamblu lucioasă.
A treia soluție rezistentă la abraziune s-a obținut prin adăugarea de 5% brânză albă puțin grasă și 5% var. Rezistența împotriva abraziunilor poate fi crescută prin izolații. Aici trebuie să se știe că izolația trebuie să penetreze adânc materialul și trebuie periodic reînnoită. Experimentele au arătat că izolația și aplicațiile suplimentare ale soluției de ceară din podele cresc considerabil rezistența la abraziune.
O rețetă tradițională germană propune obținerea unui înveliș gros, rezistent, prin stropirea unei izolații cu sânge de oaie cu Fe_3O_4 care apoi este bătută cu ciocanul în suprafață de lut. În vremurile de demult, la izolații se folosea sânge de vacă, fiere de vacă și gudron.

Creșterea rezistenței termice

Izolația termală a lutului poate fi crescută prin adăugarea de substanțe poroase precum paiele, trestia, ierburile marine, pluta și alte plante ușoare.
Se mai pot adăuga, de asemenea, particule minerale, naturale sau artificiale, cum ar fi piatra ponce, lava, argilă expandată, sticla spongioasă, perlitul expandat sau materie spongioasă, precum pluta expandată, deșeuri ca rumegușul, așchii de lemn și coji.
Cu cât amestecul este mai poros, cu atât este mai ușor și oferă o mai bună izolare termică.
Conform standardului german DIN 18951, lutul care are componente ușoare se numește lut ușor dacă densitatea sa e mai mică de 1.200 kg/m^3, dacă sunt folosite

paiele ca material de umplere, acesta este numit lut ușor cu paie, iar în cazul rumegușului și așchiilor din lemn e denumit lut ușor lemnos.
Componentele minerale poroase sunt denumite lut ușor mineral. Cum aceste trei tipuri de lut ușor diferă prin proprietăți și metode de fabricare, ele sunt descrise separat.
Nămolul bogat în argilă e folosit pentru fabricarea acestor tipuri de lut ușor.
Procesul fabricării acestui nămol depinde de amestecul de lut și poate fi făcut atât manual, cât și mecanic, așa cum e descris în cap.3, p.38.
Teoretic, e, de asemenea, posibil să se folosească lut afânat sau expandat cu substanțe spumante pentru a forma pori cu bule de aer; până acum, testele cu lut nu au dat rezultatele scontate.

Lutul ușor cu paie

Generalități

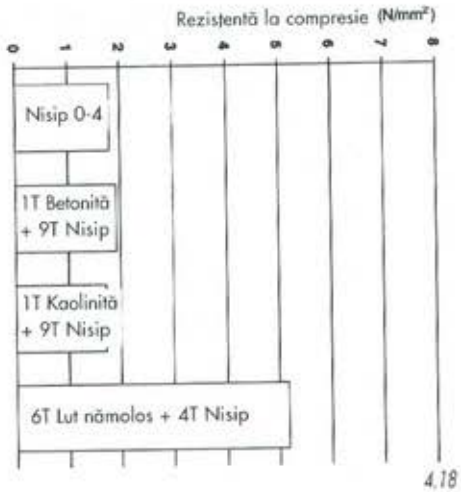
Lutul ușor cu paie este un amestec de paie și lut cu o densitate mai mică de 1.200 kg/m^3. Dacă această densitate este mai mare de 1,200 kg/m^3 e denumit lut cu paie.
Există o dezbatere mondială asupra celor mai potrivite tipuri de paie, însă fiecare caz în parte trebuie testat. Pentru lutul de tencuială, paiele de orz s-au dovedit a fi cele mai potrivite, deoarece sunt mai fine decât alte paie.
Mai important decât tipul de paie este structura mugurilor. Pentru creșterea izolației termice sunt preferate paiele cu muguri rigizi, deoarece nu se deformează ușor și din acest motiv țin aerul blocat în interior.

Tăierea paielor

Lungimea mugurilor paielor nu trebuie să fie mai mare decât grosimea elementelor construcției.
Tăierea poate fi efectuată prin diferite metode manuale sau mecanice.

Prepararea amestecului

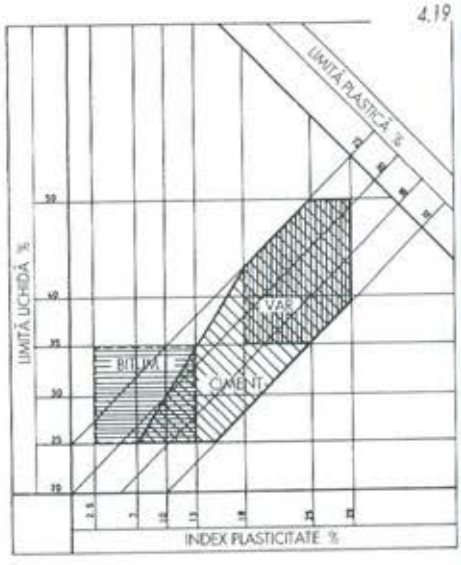
Lutul și paiele sunt amestecate ori prin fărâmițarea nămolului peste paie ori prin cufundarea paielor în nămol. Mugurii paielor trebuie complet înconjurați de lut nămolos. Capitolul 10, p.83 descrie modul cum amestecul este folosit ulterior pentru diferite aplicații.



4.18

Izolația termică

O concepție greșită este aceea că lutul de paie folosit pentru umplere în casele medievale de lemn în Europa oferă o izolație termică suficientă. Dacă 10 părți de paie tăiate sunt amestecate cu lut nămolos gros făcut din 2 părți de lut argilos uscat și o parte de apă, acesta va da un amestec cu o densitate de 1.300 kg/m^3 și o valoare k de 0,53 W/mK. Astfel, un element specific al acestui material cu o grosime de 14 cm acoperit cu un strat de pastă de var de 2cm pe ambele părți dă o valoare U de 2,1 W/ m^{2}K. Pe de altă parte, dacă se dorește atingerea unei valori U de 0.5 W/ m^{2}K (valoare dorită și cerută de codurile de construcție din țările centrale și de nord ale Europei în zilele noastre), atunci acest zid trebuie să aibă grosimea de 0,95 m.
Chiar dacă acest conținut de paie va fi mărit de 3 ori, acest material este inacceptabil pentru o grosime de 14 cm.
Practic, este aproape imposibil să se atingă o densitate mai mică de 500 kg/m^3, atâta timp cât paiele sunt plastifiate prin înmuierea datorată procesului de amestecare și compactat când sunt așezate în cofraj.
Au fost și încercări de obținere a unei densități mai mici (în jur de 300 kg/m^3), dar de obicei încercările nu sunt corecte pentru că se bazează și se produc cu ajutorul unor metode de testare imprecise. Astfel, un cofraj mic de cărămidă este umplut cu un amestec de lut cu paie. Acesta este apoi cântărit după uscare și împărțit după volumul formei turnate, unde pot interveni erori de până la 40%. Singura metodă precisă pentru determinarea densității este de a tăia un cub dintr-un zid înalt astfel

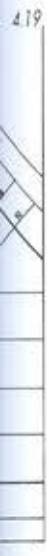


4.19

0 [%/masă]	Greutatea [kg/m³]	0 [N/mm²]
0	1882	2.2
1	1701	1.4
2	1571	1.3
4	1247	1.1
8	872	0.3

4.20

4.18 Rezistența la compresie a lutului și nisipului cu adăugarea de 6% var
4.19 Stabilizatori potriviți pentru lut conform plasticității lor (CRATerre, 1979)
4.20 Reducerea rezistenței la compresie a lutului prin adăugarea de paie tăiate (5cm)



încât paiele curbate la colțuri la fel ca și spațiile goale rămase la margine să fie eliminate.
Cu cât este mai mare matrița, cu atât e mai corect rezultatul, având în vedere că există mereu eroziuni pe la margini în timpul tăierii și folosirii. Din cauza erorilor menționate mai sus, se consideră o densitate de 300 kg/m³ și valoarea k este calculată în funcție de ea. Cum în realitate densitatea este în mod obișnuit în jur de 700 kg/m³ în secțiunile clădirilor, valoarea k a acesteia este 0,21 W/mK, de unde, pentru un zid gros de 30 cm tencuit pe ambele părți, valorile U pot ajunge până la 0,6 W/m²K. Această valoare de transmitere a căldurii este dublă față de valoarea unui material cu densitatea de 300 kg/m³.
Următoarele aspecte trebuie luate în considerare atunci când se lucrează cu lut ușor cu paie, având în vedere că acesta are câteva dezavantaje certe față de lutul pur:
1. Într-un climat cu umiditate moderată și mare, apariția ciupercilor are loc după doar câteva zile, degajând un miros specific puternic. Acest lucru, în cazuri extreme, poate provoca alergii. De aceea, trebuie asigurată o bună ventilație în timpul construcției astfel încât componentele construcției să se usuce rapid. După ce zidurile au fost uscate complet, lucru ce poate dura câteva luni, sau chiar un an sau mai mult, depinzând de grosimea lor și de climat, ciupercile nu mai produc spori. Oricum, formațiunile de spori pot să reapară dacă apa trece prin zid fie din exterior prin scurgeri, fie din interior prin condensare. Creșterea ciupercilor poate fi evitată prin adăugare de piatră de var sau borax, dar acest lucru are următoarele dezavantaje:
- forța de legătură și rezistența la compresie scad semnificativ;
- mâinile se irită în timpul lucrului cu acest amestec;
- pereții mai groși de 25 cm pot părea uscați la suprafață, chiar dacă sunt putrezi la interior (vezi cap.10, p.83).
2. Rezistența suprafeței amestecului pentru un zid cu o densitate mai mică decât 600 kg/m³ este în mod normal prea mică pentru fixarea cuielor și diblurilor, așa cum este necesar. Cum sunt necesare două straturi, tencuiala e mult mai laborioasă, câteodată cu consolidări între ele.
3. În timpul uscării apar sedimente verticale ce duc la spărturi în vârful zidului (*4.21*). Acestea trebuie umplute cu grijă mai târziu pentru a se preveni pierderile de căldură, poluarea fonică și condensul.
4. Lucrul cu acest material este foarte laborios. Fără mașini speciale de amestec și transport, munca efectivă pentru un zid gros de 30 cm este de 6h/m² (20h/m³). Este de 4 ori munca necesară pentru zidirea unui perete întreg. Dezavantajele menționate mai sus pot fi evitate dacă agregatele minerale poroase sunt folosite în locul paielor, lucru despre care se va discuta în următoarea secțiune.
Posibilele avantaje ale lutului ușor cu paie sunt costurile materialelor ușoare și faptul că nu necesită investiții majore în utilaje. Este apropiat conceptului de construire în regie proprie.

Lutul ușor mineral

Pentru a crește izolația termică, agregatele minerale poroase pot fi adăugate lutului ca o alternativă la paie; acestea includ argilă expandată, sticlă spongioasă, lavă expandată, perlită sau piatră ponce. E posibil să se atingă o rație de contracție de 0 (pentru a elimina în întregime contracția) alegând proporția corectă pentru componente.
Toate celelalte tehnici de construcții din pământ cer atenție pentru compactare.
În comparație cu lutul de paie, rezistența difuziei de vapori este de la două la trei ori mai mare și, de aceea, probabilitatea de condensare a apei în interiorul peretelui este mică (vezi cap. 2, p.29).
Alt avantaj al materialului este acela că amestecul poate fi turnat în cofraj, în felul acesta reducându-se substanțial munca manuală. Cum investiția în utilaje este mare, această metodă este recomandată doar pentru proiecte de construcție ample. Densitatea obișnuită atinsă variază de la 500 la 1.200 kg/m³.

Adaosuri

În câteva țări industrializate, argila expandată este ieftină și un adaos ușor de găsit. Are o densitate de 300 kg/m³ și este produsă prin arderea lutului în cuptoare rotative la temperaturi de peste 1200°C fără alte adaosuri pentru expandare. Expandarea intervine datorită încălzirii bruște, care determină evaporarea apei de cristalizare și a apei interstițiale, creând

dilatarea masei (similar fabricării pop-corn-ului). Suprafaţa acestor mingi de argilă expandată se topeşte şi e sinterizată. Aproape toţi porii din aceste mingi de argilă expandată sunt închişi şi de aceea sunt insensibili la apă şi îngheţ. Echilibrul conţinutului umed este de doar 0,03% .
Sticla spongioasă are proprietăţi similare cu argila expandată, dar are o densitate a volumului mai mică. Poate fi produsă prin reciclarea sticlei şi adăugarea de agenţi de expandare.
Perlita expandată este produsă din roca vulcanică (existentă în Europa în Insula Milos şi în Ungaria). Conţine de la 3% la 6% apă tratată chimic şi când este încălzită brusc până la 1000°C, apa se evaporă, mărind valoarea anterioară de 15-20 de ori. Densitatea volumului poate fi de 60 kg/m^3, iar valoarea k de 0,045 W/mK. Rezistenţa difuziei vaporilor este în jur de 2,7. Căldura specifică este 1000 J/kgK. Cu un material având densitatea de 90 kg/m^3, se atinge o valoare k de 0,05 W/mK. Compoziţia chimică a perlitei expandate este: SiO_2 (60-75%), Al_2O_3 (12-16%), Na_2O (5-10%).
Lava expandată este similară cu perlita expandată de origine vulcanică, numai că densitatea celei dintâi este mai mare.
Piatra ponce este o piatră poroasă naturală care a fost deja „expandată" în timpul formării vulcanice. Densitatea ei variază între 500 şi 750 kg/m^3.

Amestecul

Dacă mixerele speciale sunt, de obicei, necesare pentru producerea amestecurilor de lut (vezi cap.3,p.37), lutul mineral uşor poate fi produs într-un mixer de ciment normal. Acolo, agregatele pot fi puse din timp şi nămolul de lut se varsă peste ele. Amestecul este gata în 3-5 minute. Nămolul trebuie să aibă un conţinut ridicat de argilă şi forţă de legătură. Producţia nămolului de lut este descrisă în cap.3, p.38.

Distribuţia granulară

Distribuţia granulară a agregatelor minerale afectează proprietăţile lutului mineral uşor. Spre exemplu, la o densitate de 500kg/m^3 poate fi atinsă cu ajutorul argilei expandate o granulaţie de 8 până la 16 mm în diametru. Cantitatea de nămol de lut a fost făcută astfel încât volumul dintre particule să nu fie complet umplut. Astfel, agregatele vor fi doar lipite între ele la punctele de contact. Această densitate de 500 kg/m^3 poate fi atinsă dacă 25 de părţi de lut sunt adăugate la 12 părţi de argilă expandată (8 - 16 mm). Oricum, blocurile din acest amestec au margini joase şi suprafeţe rigide. Un amestec mai puternic e obţinut cu 24 părţi de argilă expandată (8 - 16 rnm), 5 părţi de argilă expandată (de la1 la 2 mm) şi 5 - 7 părţi lut. Densitatea atinsă de acest amestec va fi de 640 - 700 kg/m^3 . Pentru a obţine o densitate sporită poate fi aleasă argilă expandată de 4 - 8 mm, adăugând suficient lut pentru a umple tot spaţiul dintre agregate. În acest caz, e avantajos să subţiem lutul cu nisip.

Folosirea

Lutul mineral uşor, spre deosebire de lutul cu paie uşor, poate fi turnat sau chiar pompat dacă amestecul este ales corespunzător. Metodele de preparare şi folosire a acestui amestec sunt explicate în detaliu în cap.10.

Izolaţia termică

Izolaţia termică a lutului mineral uşor depinde în principal de densitatea acestuia şi este egală cu a lutului uşor cu paie, dacă aceasta este mai mare de 600 kg/ m^3.
Pentru amestecuri sub 600 kg/m^3, izolaţia termică a lutului mineral uşor e oarecum mai bună decât a lutului cu paie uşor, atât timp cât paiele au un echilibru al conţinutului de umezeală mai mare, şi deci mai multă umezeală, lucru ce reduce izolaţia. Echilibrul de umezeală al conţinutului paielor de secară la o umiditate relativă de 50% şi la o temperatura de 21°C, spre exemplu, este 13%, pe când în cazul argilei expandate în aceleaşi condiţii, e doar 0,1 %.

Energia încorporată

S-a afirmat adesea că pentru producerea agregatelor minerale artificiale precum argila expandată este nevoie de o energie considerabilă. În acest context, trebuie ştiut faptul că încorporarea energiei depuse pentru cheresteaua şi cărămizile folosite în construcţii este mult mai mare.
Încorporarea energiei pentru cherestea a fost calculată ca fiind de 6 ori mai mare decât pentru vată minerală şi de 2 ori mai mare decât pentru argilă expandată în

4.21

4.21 Setări pentru test cu lut de paie ușor

cazul aceluiași volum. (Turowski, 1977; Weller și Rehberg, 1979; Elias, 1980; Marme și Seeberger, 1982) .
În alcătuirea unui raport privind energia totală depusă la un anumit proiect, trebuie amintit faptul că, dacă din punct de vedere tehnic, poate fi adevărat că lutul cu minerale expandate artificiale folosesc mai multă energie decât cele ce conțin alte agregate, această diferență e neglijabilă când se compară, de exemplu, cu energia totală necesară producției și transportului cherestelei.

Lut ușor de plută

Pluta expandată poate fi folosită pentru a forma lutul ușor în locul agregatelor minerale poroase. Avantajul plutei expandate constă în densitatea ei mică. Dezavantajele sunt costul ridicat și rezistența la compresie slabă. De aceea, cărămizile făcute din acest amestec se rup foarte ușor la margini.
Firma germană Haacke a dezvoltat un amestec de plută, diatomit și paie, cu puțină celuloză, ce acționează ca un spray izolant pentru un zid. Densitatea este între 300 și 450 kg/ m^3. Valorile k măsurate sunt 0,07 și 0,08 W/mK, rezistența difuziei vaporilor măsurați este între 4 și 19, iar procentul de compresie între 1 % și 2%.

Lut lemnos ușor

Rumegușul, talajul și așchiile pot fi, de asemenea, folosite ca și agregate ușoare pentru a spori proprietatea de izolare termică a lutului. Deoarece cheresteaua are o densitate mai mare în comparație cu paiele și pluta, capacitatea de izolare termică a acestui amestec este în consecință scăzută. Densitatea minimă ce poate fi atinsă este în jur de 500 kg/ m^3, însă un amestec uscat cu această densitate nu mai posedă suficientă rigiditate.
Pericolul creșterii ciupercilor și a putrezirii este mai mic decât în cazul paielor, dar totuși există.
Din punct de vedere ecologic este de dorit să se folosească așchii din crengi și bucăți de copac ce nu au fost folosite în partea de structură. Totuși, acestea conțin și ele cantități considerabile de scoarță de copac, fiind predispuse la creșterea ciupercilor și la putrezire.

Lut spumat

Pentru spumarea lutului, acesta nu trebuie să conțină nisip și pietriș și trebuie să fie maleabil. Pentru că lutul în această stare necesită un timp îndelungat pentru uscare, este greu de spumat dacă se folosesc agenți obișnuiți, precum cei ce se folosesc la spumarea betonului. De aceea, lutul trebuie să fie tratat cu adaosuri ce grăbesc procesul de uscare, precum geopolimerii descriși în acest capitol la pagina 43, unde argila, cuarțul și pudra de talc sunt amestecate cu silicat de sodiu și apoi spumate cu peroxid de hidrogen (H_2O_2).
Prin acest proces se obține lut spumat cu o densitate de 90 kg/m^3. Acest material se întărește în mai puțin de 2 ore la o temperatură de 20°C și într-o oră la 50°C. Acest produs, realizat de firma germană Huls AG, are o forță de compresie de 10 până la 20 kg/e m^3, încălzire specifică de O_2 kJ/kgK, conductivitate termică de la 0,10 la 0,12 W/mK și valoarea pH-ului între 9 și 10. Este un material ideal pentru obținerea elementelor din pământ prefabricate de dimensiuni mari. Compania germană Lorowerk folosește o tehnică similară pentru producerea elementelor de mari dimensiuni
pentru izolarea termică. Produsele cu densitatea de 300 kg/m^3 ajung la o conductivitate termică de 0,08 W/mK. Aportul de energie primară necesar este de numai 5 kWh/m^3.

5 Lucrări din pământ bătătorit

Pământul bătătorit este bine cunoscut de secole pe toate cele cinci continente ca tehnică tradițională de construcție a zidurilor. De fapt, fundațiile de pământ bătătorit descoperite în Asiria datează din anul 5000 î.Hr.

Conform tehnicilor de obținere a pământului bătătorit, pământul umed este turnat în confraj în straturi de până la 15 cm, care apoi se compactează prin bătătorire. De obicei cofrajul este format din doi pereți paraleli separați și legați prin distanțieri (*5.1*). Această tehnică se numește *pisé de terre* sau *terre pisé* în franceză; denumirea spaniolă este *barro apisonado* sau *tapial*; iar denumirea germană pentru același procedeu este *Stampflehmbau*.

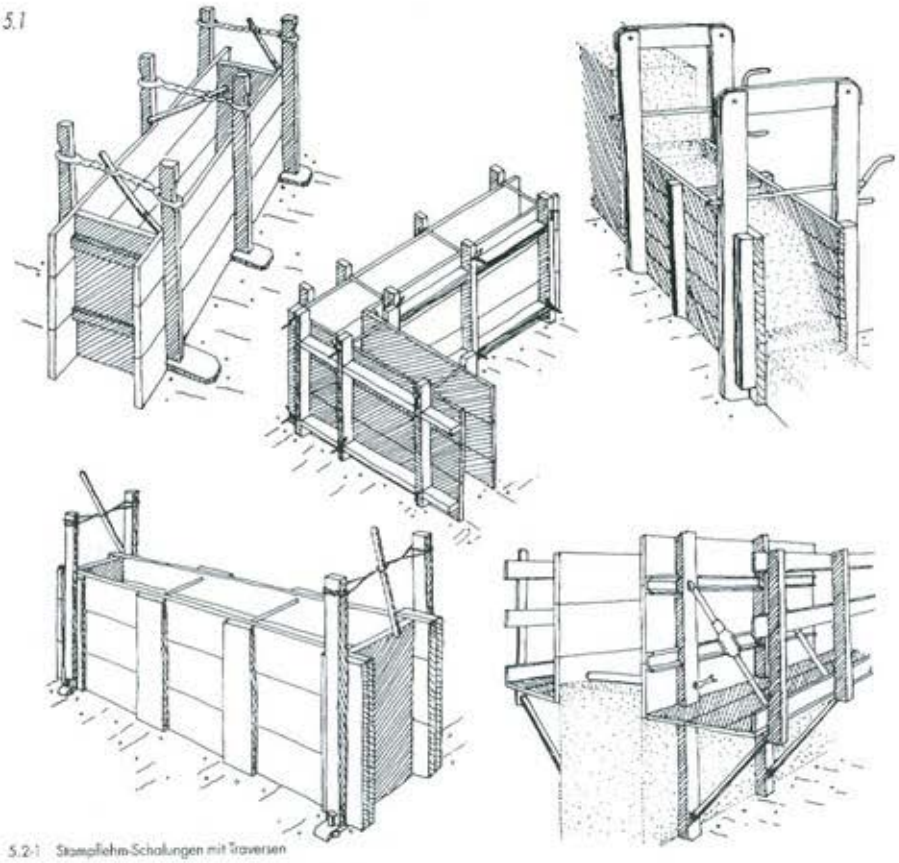
Tehnicile tradiționale de bătătorire a pământului sunt încă folosite în multe țări dezvoltate. Prin sistemele avansate de bătătorire, precum și prin bătătorirea electrică sau pneumatică se reduce efortul fizic necesar, transformân-du-se tehnicile de bătătorire într-o alternativă viabilă și pentru țările puternic industrializate. Din motive ecologice și uneori și economice, tehnologiile mecanizate de bătătorire a pământului pot constitui o alternativă viabilă pentru zidăria convențională, în special în cazul țărilor puternic industrializate, unde standardele de izolare termică cerute sunt foarte înalte. Multe firme din partea de SV a Statelor Unite și din Australia folosesc această tehnică.

În comparație cu tehnicile lutului umed, (capitolul 9), rata de contracție a pământului bătătorit este mult mai scăzută, și rezistența mult mai mare. Iar în comparație cu zidăria din chirpici (capitolul 6), pământul bătătorit fiind monolitic – oferă avantajul unei vieți mai îndelungate.

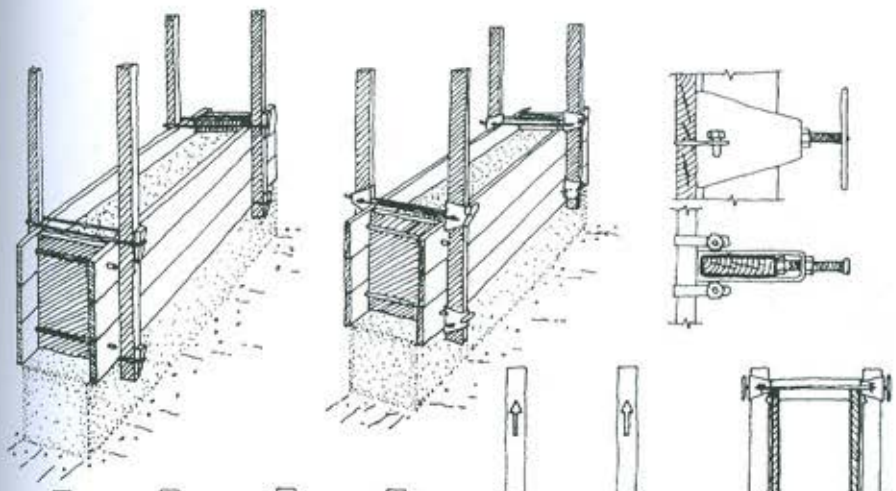
Tehnicile de construcție a pereților și a bolților din pământ sunt descrise în secțiunile care urmează. O tehnică specială de obținere a pământului bătătorit întărit cu bambus și rezistent la cutremure, precum și a podelelor din pământ bătătorit este descris în capitolul 15.

5.1 Cofraj pentru pământ bătătorit
5.2 Cofraj glisant, BRL (Minke, 1984)

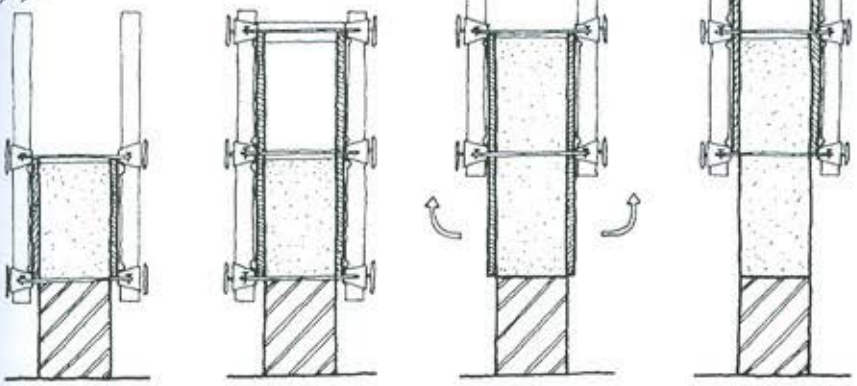
5.1



5.2-1 Stampflehm-Schalungen mit Traversen

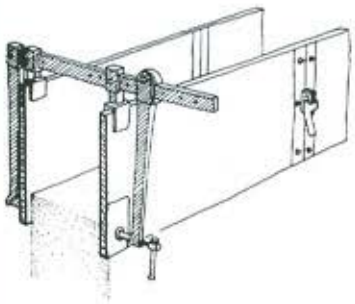


5.2

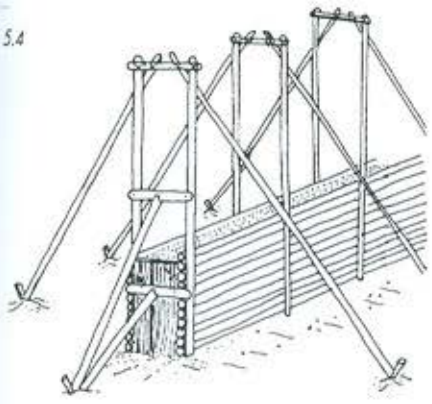


5.3 Cofraj fără distanțieri intermediari
5.4 Cofraj tipic cu bracing folosit în China
5.5 Cofraj pentru pereți rotunzi și curbați

5.3

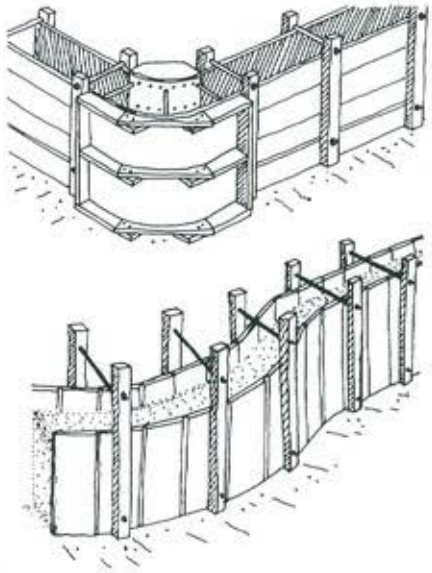


5.4



Cofraje

În cazul cofrajelor tradiționale, placajele de pe ambele părți sunt separate sau unite prin distanțieri (*5.1*). Acești distanțieri perforează peretele, formând deschideri ce trebuie umplute după îndepărtarea cofrajului. Un sistem cu distanțieri pretensionați foarte subțiri (4 x 6 mm) care perforează peretele a fost dezvoltat în cadrul Laboratorului de Cercetare în Construcții (BRL) (*5.2*).



5.5

Pentru a elimina complet acest dezavantaj, s-au inventat sisteme fără distanțieri (vezi p.56 din acest capitol).

După cum se arată în *5.4*, cofrajele fără distanțieri intermediari care sunt fixate pe ambele părți necesită mult spațiu și împiedică mișcarea pe șantier.

Cu ajutorul unui cofraj special, se pot forma, de asemenea, colțuri rotunjite și pereți curbați (*5.5*). Un hambar circular construit în 1831 în Bollbrügge, Germania, cu pereți din pământ bătătorit groși de 90 cm este prezentat în figura *5.6*.

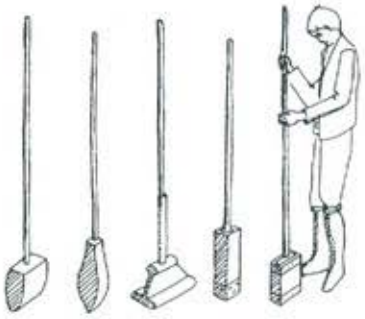
Sistemele de cofraje obișnuite, folosite în tehnologia betonului pot fi folosite și pentru pământul bătătorit, deși de obicei se dovedesc a fi prea greoaie și prea costisitoare. În Europa, se folosesc cel mai des panouri de lemn cu o grosime de 19 mm. Acestea trebuie să fie fixate cu ajutorul unor bare verticale așezate la intervale de aproximativ 75 cm. Dacă nu se întâmplă astfel, aceștia se vor îndoi în afară în timpul bătătoririi. De aceea, ar putea fi mult mai economică alegerea unor panouri mai groase de 30 până la 45 mm , care trebuie fixate numai la intervale de100 până la 150 cm.

Dacă solul este foarte argilos, cofrajul nu trebuie smuls, ci trebuie îndepărtat ușor de pe suprafața pământului bătătorit, împiedicând astfel distrugerea sa de către particulele de argilă lipite de cofraj. Mai mult, nu este de dorit nici ca suprafața să fie prea dură (așa cum este de exemplu lemnul tăiat cu fierăstrăul), dar nici prea fină (așa cum este lemnul lăcuit sau netezit).

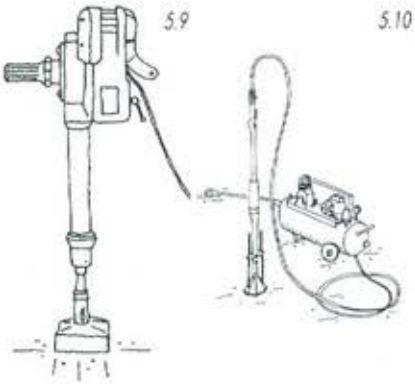
Dacă cofrajul nu este optimizat pentru această tehnică, atunci până la 30% din toată munca s-ar putea concentra asupra ridicării, ajustării și demontării cofrajului. De aceea trebuie să se țină cont de următoarele:

- Placajele trebuie să fie rigide, astfel încât să nu se îndoaie în afară în timpul bătătoririi.
- Toate părțile trebuie să fie destul de ușoare pentru a putea fi cărate de doi muncitori.
- Cofrajele trebuie să fie ușor de ajustat atât pe verticală, cât și pe orizontală.
- Variațiile grosimii peretelui trebuie să fie controlabile în limita unei toleranțe specifice.

5.6



5.7



5.9 5.10

5.6 Şopronul circular, Bollbrügge, Germania (1831)
5.7 Maiuri folosite pentru compactarea manuală
5.8 Mai cu două capete folosit în Ecuador

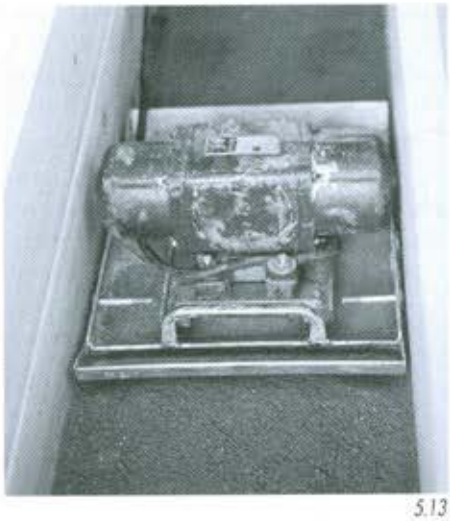
Este de preferat ca marginile să nu aibă nevoie de nici un fel de cofraj.
De aceea, cofrajul trebuie să fie adaptat turnării unui perete de dimensiuni variabile.

Unelte

Înainte, pământul se bătătorea manual, folosind maiuri cu formă conică, cu bază ascuțită sau plată (*5.7*).
Dacă se folosesc maiuri conice sau cu bază ascuțită, straturile diferite sunt mai bine amestecate și, dacă este suficientă umezeală, se obține o sudare mai bună. Totuși, aceasta ia mai mult timp decât bătătorirea cu ajutorul unor maiuri cu brațe plate. Pereții bătătoriți cu ajutorul maiurilor cu brațe plate au o rezistență laterală scăzută și de aceea ar trebui încărcate numai vertical.
Baza maiului nu trebuie să fie prea ascuțită, astfel încât să nu se deterioreze cofrajul, dacă este făcut din lemn. Baza nu trebuie să fie mai mică de 60 cm^2, dar nici mai mare de 200 cm^2. Greutatea maiului trebuie să se înscrie între 5 și 9 kg. Este preferabil să se folosească un mai cu două capete, cu un capăt rotund pe o parte și unul pătrat pe cealaltă. Aceasta permite folosirea maiului cu capăt rotund pentru uz general, și a celui cu margine pătrată pentru a compacta eficient colțurile. Un astfel de mai este folosit chiar și în zilele noastre în Ecuador (*5.8*).
Maiurile electrice și pneumatice sunt

5.8

folosite încă din prima jumătate a secolului 20 în Germania, Franța și Australia. Maiul electric prezentat în figura *5.9*, construit de firma germană Wacker, despre care s-a scris foarte mult, era adesea folosit înainte pentru bătătorirea pământului. Având acțiunea similară unui ciocan, cu o ridicare de 33 mm, și o frecvență de 540 lovituri pe minut, bătătorirea este foarte eficientă; singurul dezavantaj este dificultatea mânuirii, deoarece cântărește 24 kg. De aceea astăzi unealta nu se mai fabrică.
În Australia în anii '50, se folosea un mai



5.13

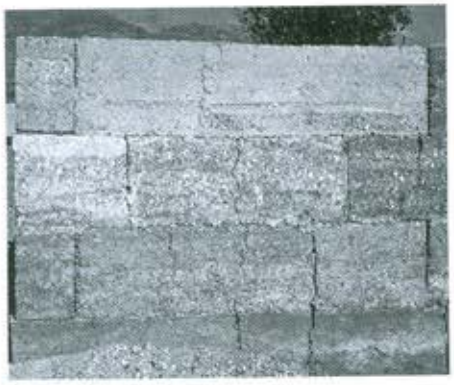
5.9 Mai electric (Wacker)
5.10 Mai pneumatic, Australia
5.11 Maiuri pneumatice (Atlas-Copco)
5.12 Mai cu vibrații (Heuser)
5.13 Mai cu vibrații (Heuser)
5.14 Crăpături de contracție într-un perete de pământ bătătorit din Ecuador
5.15 Tăierea în felii a pământului bătătorit imediat ce a fost demontat cofrajul
5.16 Tehnică *French pisé*

5.11

5.12

5.15

pneumatic (*5.10*). Acesta acționează ca un perforator pneumatic, cu o frecvență de 160 lovituri pe minut și o greutate de 11 kg. În mod normal, uneltele de acest tip, pentru compactarea solului folosite în construirea drumurilor, nu sunt potrivite pentru lucrările de bătătorire a pământului, pentru că au o frecvență prea mare și o ridicare prea mică. Uneltele care doar vibrează ar fi potrivite pentru solurile nisipoase, însă nu și pentru cele argiloase. Maiurile pneumatice prezentate în *5.17* sunt extrem de eficiente pentru pereții de pământ bătătorit. Ram II G, produs de firma Atlas Copco, este potrivit pentru astfel de lucrări, pentru că un element special împiedică rotirea capului, asigurând astfel folosirea corespunzătoare a capetelor pătrate. Toate maiurile ilustrate necesită o presiune de 6 bar și un flux al aerului de la 0,4 la 0,9 m^3/min. Datorită costurilor mari, a infrastructurii și energiei necesare punerii în mișcare, aceste maiuri se folosesc numai pentru proiecte de construcții mari.
Laboratoarele BRL au construit un mai cu vibrații electrice care a fost produs de firma

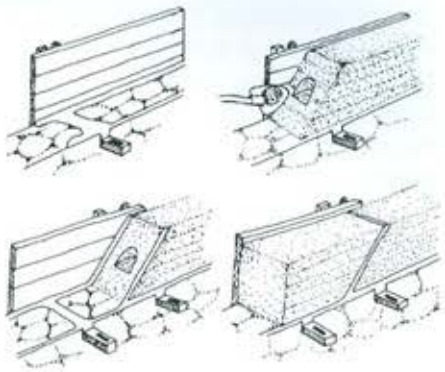


5.14

Heuser (*5.12* și *5.13*). Motorul acestuia are o frecvență de 1000 până la 1200 cicluri pe minut. Cea mai importantă parte a acestui mai cu vibrații este baza sa cu o formă specială, ce permite mișcarea utilajului însuși în cadrul cofrajului, în timp ce pământul este compactat. Poate compacta straturi de sol cu o grosime de până la 7 cm.

Metode de construcție

În ceea ce privește aproape toate tehnicile tradiționale de bătătorire a pământului, cofrajul este îndepărtat și ridicat din nou pe orizontală, pas cu pas. Aceasta înseamnă că pământul este bătătorit în straturi cu o



5.16

înălțime de 50 până la 80 cm, formând rânduri orizontale de aceeași înălțime înainte de mutarea cofrajului. Atunci când un rând este gata, următorul rând bătătorit este mai umed decât cel deja construit, care este parțial uscat.
De aceea, contracția este mai puternică în rândul superior decât în cel inferior, ceea ce duce la formarea fisurilor de contracție orizontale la îmbinare (*5.14*). Acest lucru poate constitui un pericol, deoarece apa capilară poate intra și rămâne în îmbinare, ducând la umflare și dezintegrare, după cum se poate vedea în aceeași figură, în acești pereți pot apărea și fisuri verticale. Aplicând tehnica *French pisé*, această problemă a fost rezolvată prin folosirea unui strat de mortar de var deasupra fiecărui rând, înaintea punerii următorului. Un mortar de var se usucă în câteva săptămâni și rămâne maleabil până când lutul nu se mai contractă; câteodată, chiar și îmbinarea laterală dintre secțiunile rândului sunt făcute din mortar în plan înclinat (*5.16*). O altă metodă de prevenire a fisurilor cauzate de contracția pe orizontală este bătătorirea în așa fel încât peretele să fie construit pe verticală. Această tehnică este descrisă în cele ce urmează.

Realizarea golurilor

Cofrajul poate fi îndepărtat odată cu terminarea bătătoririi. În același timp, acest pământ bătătorit poate fi modelat cu ușurință prin zgâriere, tăiere, scobire sau răzuire. În mod normal în cofraj se lasă inserții pentru a se crea deschideri. Totuși, în cazul pământului bătătorit, deschiderea poate fi tăiată cu mai puțin efort cu ajutorul unui cuțit sau a unei sârme ghimpate folosite pe post de fierăstrău. Această tehnică permite, de asemenea,

modelarea de glafuri sau pervaze, după cum se arată în figura *5.15*. Trebuie adăugat şi faptul că la acest nivel, pământul bătătorit a căpătat deja suficientă rezistenţă pentru a se putea prinde cuiele (care pot fi bătute în perete fără a fi nevoie de găuri de bormaşină).

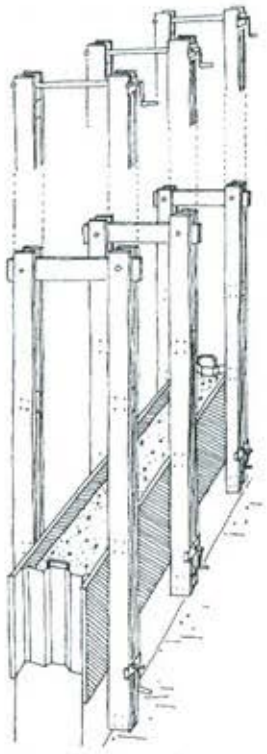
Noi tehnici de construire a pereţilor

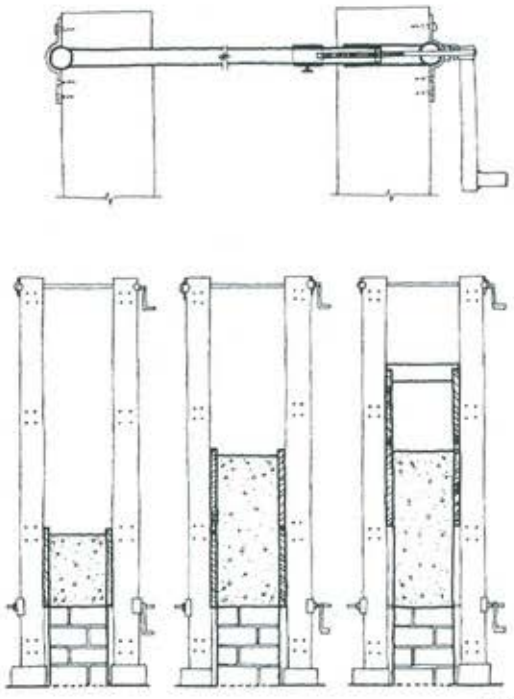
Panouri de pământ bătătorit

Pentru a preveni fisurarea pe orizontală la îmbinările verticale din cadrul construcţiilor tradiţionale de pământ bătătorit, BRL a dezvoltat o nouă tehnică de producere a unor panouri de înălţimea unui etaj, cu lăţimi de până la 2,4 m, printr-un proces continuu de bătătorire. Această tehnică permite renunţarea la îmbinările orizontale, iar îmbinările verticale ce apar sunt închise numai după contracţia completă. Pentru stabilitate late-rală, îmbinările verticale sunt făcute pe mo-delul lambă şi uluc. În panouri, de asemenea, dimensiuni nu apar fisuri de contracţie. Reducerea lungimii cauzată de contracţie este vizibilă numai la îmbinare (aceasta acţionează ca o îmbinare de contracţie pre-modelată). Pentru a evita folosirea unui cofraj de înălţimea unui etaj, BRL a propus un cofraj glisant. În ilustraţia *5.19* este prezentat un model din oţel, iar în figurile *5.17* şi *5.18* se prezintă un model mai recent din lemn (care s-a dovedit mai uşor de mânuit).

Cofrajul este despărţit la bază doar de o bară de oţel, rămânând doar o fisură mică după îndepărtare. Spaţiul superior este poziţionat deasupra nivelului de sus al peretelui şi nu intervine în proces. După cum se arată în figură, se poate folosi fie o soluţie mai simplă cu distanţier de lemn deasupra, fixat de membrele verticale, formând astfel o furcă, sau o versiune mai sofisticată făcută din oţel, care permite, de asemenea, ajustări fine a distanţei la vârf.

Prima clădire la care s-a folosit această tehnică s-a construit la Universitatea Kassel în 1982 (*5.27*), din sol cu o compoziţie de aproximativ 10% argilă şi 50% nisip. Pământul a fost bătătorit cu ajutorul vibratorului descris, în p.55, şi arătat în *5.12* şi *5.13*. Contracţia liniară a acestor elemente a fost de numai 0,4%. După uscare, îmbinările au fost umplute cu lut stabilizat cu 8% ulei de in dublu-rafinat. O streaşină de 60 m şi o plintă de 50 m au fost suficiente pentru a proteja peretele de eroziune şi nu a fost nevoie de nici un fel tratare a suprafeţei.





5.17

5.17 la *5.19* Cofraj glisant pentru panouri din pământ bătătorit (BRL)
5.20 Cofraj (Rammed Earth Works, USA)
5.21 Clădire test, Universitatea din Kassel, Germania, 1982
5.22 şi *5.23* Lucrări mecanizate din pământ bătătorit în curs de desfăşurare (Terrastone)

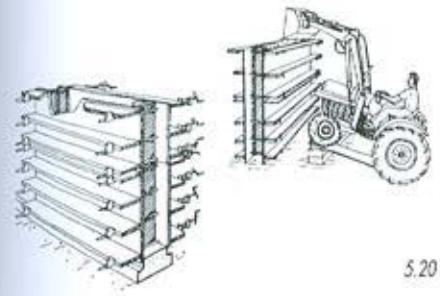
Tehnicile mecanizate

Firma Rammed Earth Works (Lucrări din pământ bătătorit) a construit mai multe case din pământ bătătorit în California folosind un cofraj special făcut din placaj gros, după cum se arată în *5.20*. Pământul a fost turnat în cofraje cu ajutorul unei basculante şi a fost compactat de un mai pneumatic. Astfel, efortul depus poate fi de numai 2 h/m^3.

În Australia, mai multe firme folosesc acest tip de proces de construcţie mecanizat (*5.22* şi *5.23*). În ultima perioadă, pe continentul australian s-au construit mai mult de o sută de clădiri din pământ bătătorit (Oliver, 1985). Ilustraţia *5.24* prezintă o biserică de pe Râul Margaret proiectată de Hodge şi Wilson şi construită de firma Ramtec. După cum se observă în *5.25*, chiar şi coloanele care susţin structura acoperişului sunt făcute din pământ bătătorit.

În 1992, a fost construit Hotelul Kooralbyn Valley Resort în Australia (architecţi: I. Hannaford, F. Raadschelders, D. Oliver), unde toţi pereţii sunt făcuţi din pământ bătătorit netencuiţi (*5.27* şi *5.28*).

5.18



5.20

Structură cu umplutură din pământ bătătorit

La Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED) din Salvador, Brazilia, s-a dezvoltat o soluție simplă de construcție a unor panouri subțiri cu umplutură de pământ bătătorit. Această metodă a fost folosită pentru mai multe proiecte imobiliare cu buget redus din Brazilia. Stâlpii și grinzile de contur erau făcute, de obicei, din beton armat prefabricat.
Cofrajul lateral era montat direct pe stâlpi. Astfel, grosimea peretelui era aceeași cu cea a stâlpilor (*5.26*). În acest caz, lutul s-a stabilizat cu 6% până la 8% ciment.

Construirea pereților cu cofraj pierdut

La fel ca în cazul tehnicilor cu pământ bătătorit, costurile cofrajului sunt relativ ridicate. În unele cazuri, este de preferat să se folosească un perete subțire cu elemente rigide de izolație termică făcute din materiale lemnoase, precum cofrajul pierdut, astfel încât să nu fie necesar nici un cofraj sau cel mult unul lateral.
Este, de asemenea, avantajos dacă acest cofraj poate contribui la o creștere substanțială a izolării termice. Acest cofraj pierdut trebuie să fie suficient de rigid pentru a amortiza impactul lateral creat prin bătătorire. Ilustrația *5.29* prezintă secțiuni orizontale printr-un perete exterior. Primele două cazuri arată fața interioară construită din chirpici sau blocuri de pământ și un strat exterior din pământ bătătorit făcut cu lut mineral ușor, tencuit direct. În acest caz cofrajul este necesar doar pentru partea externă. În cel de-al doilea caz, o legătură mai bună a stratului interior din chirpici sau a blocurilor de pământ se obține datorită tipului de legătură dintre straturi. În secțiunea din partea dreaptă, cofrajul pierdut este pe exterior și este făcut din blocuri de pământ ușor stabilizat. Ilustrația *5.30* arată secțiuni verticale prin pereții exteriori ce prezintă cofraje pierdute pe ambele părți. Fața interioară poate fi făcută din chirpici sau blocuri de pământ, elemente mai mari din lut prefabricat sau placaje rigide, gips-carton, sau placaje din particule lemnoase cu liant de ciment sau carbonat de magneziu.
Protejarea suprafeței peretelui se poate obține prin tencuire, realizarea la exterior a unui strat de zidărie sau prin placaje ventilate.

5.21

Cupole din pământ bătătorit

Probabil prima cupolă de pământ bătătorit a fost construit la BRL în Kassel, Germania, în 1983, folosind o tehnică specială dezvoltată

5.19

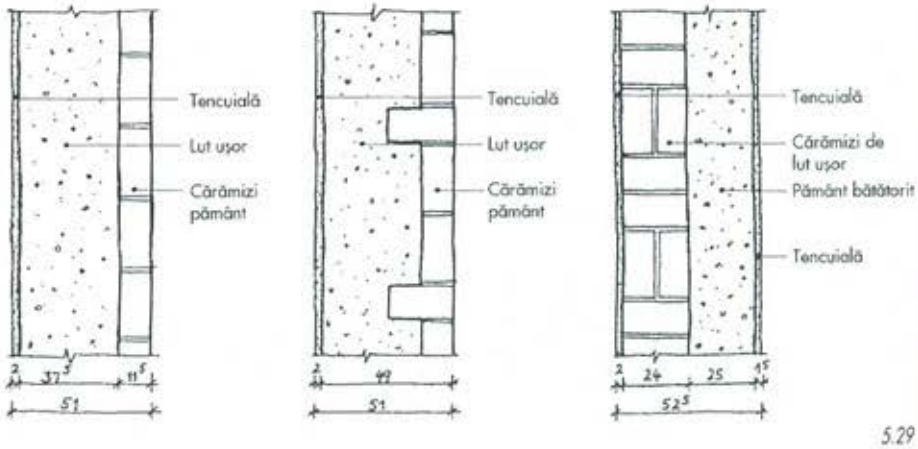
5.22

5.23

5.24

5.24 la *5.25* Biserică, Margaret River, Australia
5.26 Structură cu cadru și umplutură de pământ bătătorit (CEPED, Brazilia)
5.27 și *5.28* Hotel, Kooralbyn, Australia
5.29 Secțiuni orizontale în pereți de pământ bătătorit ușor cu față interioară sau exterioară din blocuri de pământ pe post de cofraj pierdut.
5.30 Secțiuni verticale în pereți de pământ bătătorit cu cofraj pierdut pe ambele părți.

5.25



5.29

5.27

5.28

5.26

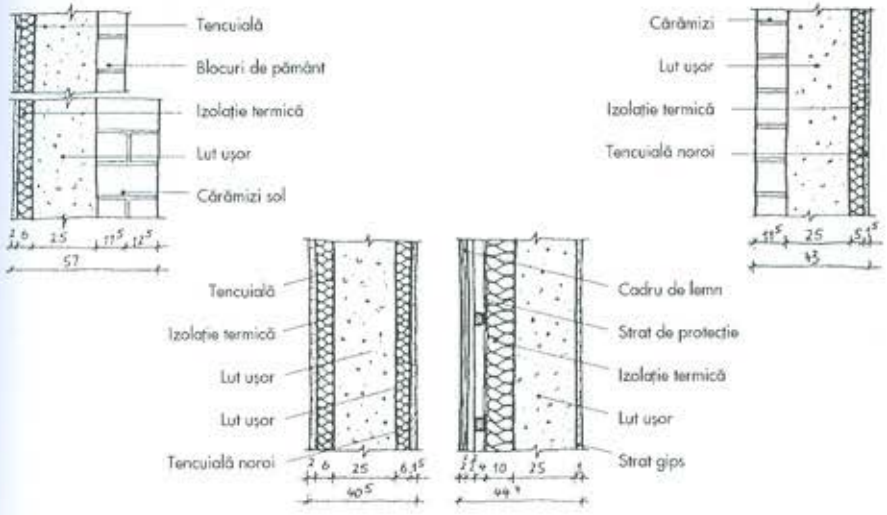
de acest laborator. Aceasta constă într-un cofraj glisant în care se bătătorește pământul (*5.31, 5.32, 5.33*).
Grosimea cupolei era de 18 cm la bază și 12 cm la vârf. Pereții, care formează un hexagon la interior, erau, de asemenea, făcuți din pământ bătătorit. Pentru a transfera forța de forfecare de la cupolă la fundație, s-a integrat în pereți stâlpi-contraforți. Modelarea vârfurilor contraforților, ca și fe-restrele, s-a făcut cu ajutorul unui cuțit de bucătărie imediat după îndepărtarea cofrajului.
Cofrajul peretelui a fost conceput în conformitate cu planul cupolei, după cum se vede în figura *5.31*. Pământul a fost bătătorit în cofraj folosind un vibrator, descris în p.55 a acestui capitol (vezi *5.12*), manual.
Cofrajul cupolei a fost conceput în așa fel încât să poată fi ridicați pereții verticali, strat după strat, dar prezintă, de asemenea, un ghidaj care ajustează automat înclinarea cofrajului (*5.33*).

Uscarea

Rareori se poate afirma cu precizie când un perete de lut s-a uscat, dar procesul de uscare este oricum mai rapid decât în cazul pereților din beton (vezi capitolul 2, p.28). Dacă este o climă caldă și uscată și suficienți curenți de aer, contracția se oprește după numai câteva zile. După trei săptămâni, peretele este complet uscat, deși conținutul de apă este încă puțin mai ridicat decât conținutul de umiditate de echilibru.

Mâna de lucru necesară

Munca necesară în cazul pereților tradiționali de pământ bătătorit construiți manual, incluzând prepararea, transportul și construirea, este de la 20 la 30 h/m^3. Prin punerea la punct a sistemului de cofraje și prin folosirea vibratorului electric descris în p.55 a acestui capitol (vezi *5.12*), munca depusă se reduce la 10 h/m^3. Cu ajutorul tehnicilor mecanizate descrise mai sus (vezi p.56), în cadrul cărora transportul și umplerea se fac cu ajutorul basculantei, iar compactarea cu ajutorul unor maiuri pneumatice, munca depusă poate fi redusă



5.30

la 2 h/m^3, ceea ce reprezintă numai 10% din cantitatea de muncă depusă în cazul tehnicilor tradiționale, și o cantitate semnificativ mai mică de muncă decât cea necesară în cazul lucrărilor de zidărie.

Izolare termică

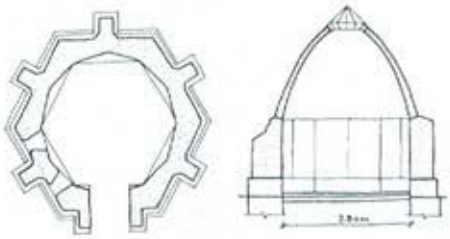
Capacitatea de izolare termică a pereților de pământ bătătorit făcuți cu pământ obișnuit nu este suficientă pentru a asigura un nivel de izolare termică necesar climatelor reci. Valoarea U a unui perete de pământ bătătorit gros de 30 cm este de 1,9 până la 2,0 W/m^{3}K. Pentru a atinge o valoare U de 0,5 W/m^{3}K, necesară în multe țări europene, este nevoie de o grosime de 1,6 până la 1,8 m. De aceea, în regiunile reci, ar trebui folosit fie un perete gros de lut ușor, fie un alt gen de izolare termică adițională. În capitolul 14, p.108, sunt descrise câteva metode posibile de construire a pereților de lut cu o izolare termică îmbunătățită.

Tratarea suprafețelor

În cazul unui perete de pământ bătătorit este nevoie de mai puțin efort și mai puține materiale pentru tratarea suprafețelor în comparație cu pereții construiți folosind alte metode de construcție. De regulă, nu este necesar și nici indicat să se tencuiască un perete de pământ bătătorit. Dacă suprafața este finisată cu o mistrie umedă imediat după îndepărtarea cofrajului, atunci se obține o suprafață netedă, ce poate fi vopsită sau tapetată (pentru suprafețele interioare). Dacă suprafețele exterioare tratate astfel sunt protejate de ploaie cu streșini și de stropire printr-un soclu, este necesar un singur strat de vopsea de protecție. Trebuie, de asemenea, să se prevină cojirea sau crăparea straturilor.

5.32

5.33

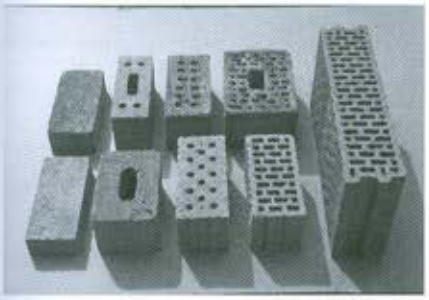


5.31

5.31 Structură test de pământ bătătorit, Universitatea din Kassel
5.32 și *5.33* Construirea unei cupole de pământ bătătorit cu ajutorul unui cofraj rotativ

6 Lucrul cu blocurile de pământ

6.2



6.1

6.1 Cărămizi crude produse la scară industrială, Germania
6.2 Parte centrală străveche a oraşului Shibam, Yemen

Blocurile de pământ produse manual, punând pământul ud într-un cofraj, sunt denumite „chirpici", „cărămizi de lut" sau „blocuri de pământ uscate la soare". Atunci când pământul umed este compactat într-o presă manuală sau mecanizată, elementele comprimate obţinute în acest fel sunt denumite „blocuri presate de pământ". În stadiul nears, cărămizile produse de un extruder, într-o fabrică de cărămizi, sunt denumite „cărămizi crude". Aceste trei tipuri de blocuri sunt, de obicei, de aceeaşi mărime ca şi cărămizile arse. Blocurile mai mari, compactate într-un cofraj, prin bătătorire cu maiul, sunt denumite „blocuri de pământ bătătorit".
Unele ţări au standardizat măsurarea acestor blocuri. Cele două mărimi folosite, de obicei, în Germania, de exemplu, sunt:

NF (format normal) =
= 71 x 115 x 240 mm
2DF (format dublu subţire) =
= 113 x 115 x 240 mm

Imaginea *6.1* prezintă forme şi mărimi diferite ale cărămizilor crude produse la scară industrială printr-un proces de extrudare, obişnuit pe piaţa nemţească. Posibilităţile de folosire specifice acestor tipuri de blocuri, pentru construirea zidurilor, pardoselilor, bolţilor şi cupolelor, sunt descrise în capitolul 14.

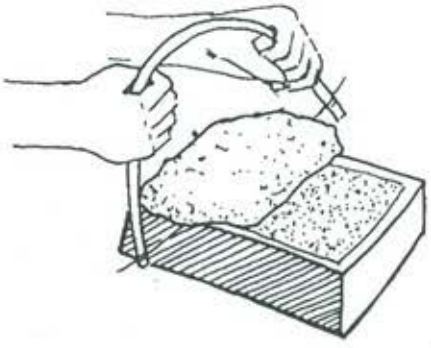
Scurt istoric

Metodele de construcţie cu ajutorul blocurilor de pământ sunt vast răspândite, în toate regiunile cu climă caldă şi uscată, subtropicală şi moderată. Clădiri din blocuri de pământ, datând din perioada 8000-6000 î.Hr., au fost găsite în Turkistan (Pumpelly, 1908), iar unele din aprox. 4000 î. Hr., în Assyria. Vizibile chiar şi astăzi, în Egiptul Superior, sunt structurile monumentale, vechi de aproape 3200 de ani, precum zidul imens de fortificaţie alcătuit din blocuri de lut, din Medinet Habu şi bolţile din încăperile pentru depozitare din curtea interioară a templului lui Ramses al II-lea, de lângă Gourna. (*1.1.*) Tehnica realizării bolţilor şi a cupolelor din blocuri de lut fără cofraj era cunoscută în multe culturi (vezi capitolul 14, p.117). De

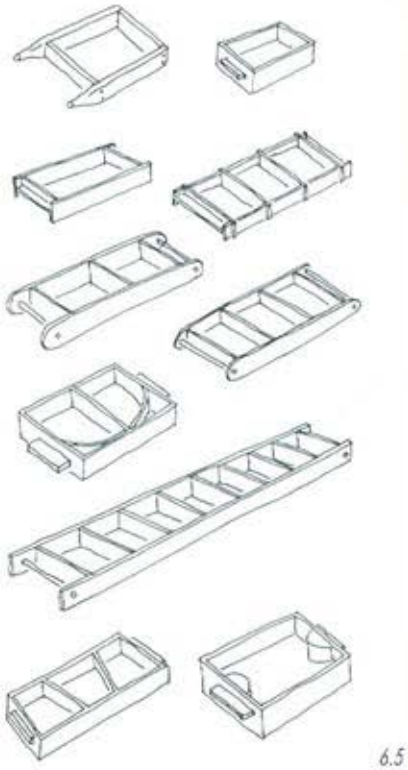
secole, indienii Pueblo din Taos, New Mexic, şi-au construit casele folosind chiar pământul aşezărilor lor, apa din vecinătatea râurilor şi paiele de pe câmp (*63*). Partea centrală a oraşului Shibarn din Yemen, acoperind aproape 20 000 m^2 şi care era accesibilă doar printr-o singură poartă, a fost construită în întregime din chirpici. Multe clădiri seamănă cu zgârie-norii şi datează din secolul 15 (*62*).
În Scandinavia şi în Anglia, „a construi cu brazde de iarbă" era o practică obişnuită în secolele 17 şi 18. Casele erau clădite din blocuri tăiate din stratul superior al pământului argilos, împreună cu iarbă crescută pe deasupra. Blocurile erau răsturnate şi folosite sub formă de cărămizi, pentru a alcătui pereţi fără mortar. Imigranţii europeni au adus această tehnică în Statele Unite, unde în secolele 18 şi 19, s-au construit un număr mare de case din brazde de iarbă (*6.4*). De asemenea, unii colonişti au adaptat aceeaşi idee de la popoarele indiene nord-americane, precum Omaha şi Pawnee, care timp de secole întregi au folosit metoda pentru a acoperi colibele lor rotunde cu brazde de iarbă (Houben, Guillaud, 1984).
În New Mexic, blocurile de aluviuni desprinse din albiile râurilor şi conţinând o împletitură de rădăcini, care servea la întărire, erau folosite pentru a construi ziduri. Aceste blocuri sunt denumite terronis sau terrones şi erau uneori utilizate în Mexic, dar şi în America Centrală.
Este interesant de remarcat faptul că în New Mexic, codurile de construcţie încă mai permit ridicarea unui edificiu cu terronis.
În Germania se lucra cu blocurile de

6.4

6.3



6.6



6.5

pământ în secolul 6 î.Hr.; cărămizile din chirpici de 40 x 40 cm şi înalte de la 6 până la 8 cm, au fost utilizate în fortul din Heuneburg, de lângă Lacul Constance (Dehn, 1957). Circa 140 000 de blocuri şi 400 m^3 de mortar au fost folosiţi pentru a construi pereţii de 3 m înălţime (Güntze,l 1986, p.23). O circulară oficială, care prezenta folosirea chirpiciului pentru ziduri, a fost publicată în 1764 (Güntzel, 1986, p.23). În 1787 şi 1790, David Gilly a publicat manuale despre construirea pe bază de chirpici.

Producerea blocurilor de pământ

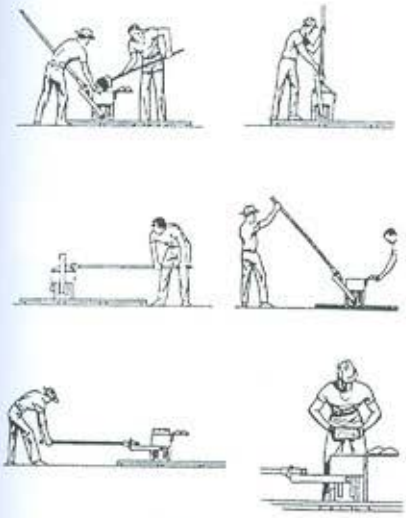
Chirpiciul este făcut fie prin umplerea matriţelor cu un amestec păstos de lut, fie prin aruncarea unor grămezi umede de pământ în interiorul acestora. Pot fi folosite diferite tipuri de matriţe; unele dintre ele sunt prezentate în *6.5*. Acestea sunt făcute de obicei din cherestea. Tehnica de aruncare este folosită în mod obişnuit, în toate ţările în curs de dezvoltare (*6.7*, *6.8* şi *6.9*). Aici, un lut nisipos este amestecat cu apă,

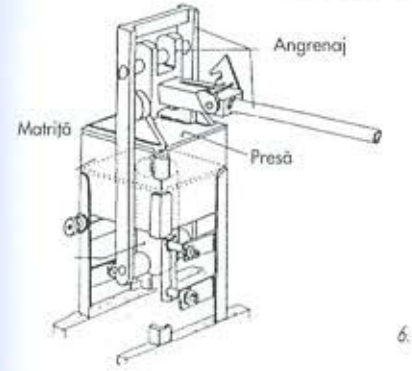
6.3 Locuinţe tradiţionale de pământ ale indienilor Pueblo, Taos, New Mexic, SUA
6.4 Casă din brazde de pământ, SUA
6.5 Matriţe pentru chirpici
6.6 Îndepărtarea surplusului de lut cu o sârmă

6.7 - 6.9 Producerea chirpiciului în Ecuador
6.10 Producerea chirpiciului pe o masă de lucru
6.11 Matriţa din metal cu mânere
6.12 Berbec CINVA, Columbia

6.10

6.11





6.12

de obicei adăugându-se paie cosite, iar din amestecul obţinut astfel este formată o pastă, turnată în matriţe de lemn. Cu cât este mai mare forţa cu care este turnat lutul, cu atât mai bună este compactarea şi rezistenţa în stare uscată. Suprafaţa este netezită fie manual, fie cu o bucată de lemn, o mistrie sau o sârmă (*6.6*).
O persoană poate produce aproximativ 300 de blocuri pe zi (incluzând prepararea amestecului, transportul şi stivuirea).
În India, o persoană poate produce nu mai puţin de 500 de blocuri pe zi, folosind o matriţă dublă, proiectată pentru o cărămidă mai mică. Pentru a uşura munca, cărămizile pot fi matriţate pe o masă, aşa cum se întâmplă în mod tradiţional, în Germania (*6.10*). O altă metodă uşoară se referă la folosirea unor matriţe cu mânere, de 80 cm lungime, cu ajutorul cărora lucrătorii pot să obţină cărămizi, stând în picioare (*6.17*). Tehnicile de producere a blocurilor comprimate de pământ erau cunoscute în Europa, din secolul 18. În 1789, arhitectul francez François Cointreaux a dezvoltat o presă acţionată manual pentru blocurile de pământ. Până atunci, au fost proiectate numeroase prese acţionate manual. Cea mai cunoscută presă din întreaga lume este Berbecul CINVA, perfecţionată în Columbia, de inginerul chilian Ramirez (*6.12*). Imaginea *6.13* prezintă Berbecul CETA în funcţiune. Este asemănătoare cu Berbecul CINVA şi a fost dezvoltată în Paraguay. Aceasta permite producţia simultană a trei blocuri. Presele acţionate manual de acest tip produc presiuni de la 5 până la 25 kg/cm^2 şi necesită trei până la cinci persoane, pentru o funcţionare optimă. În pofida producţiei mecanizate de blocuri de pământ, prin utilizarea preselor, producţia de persoană

6.7

6.8

6.9

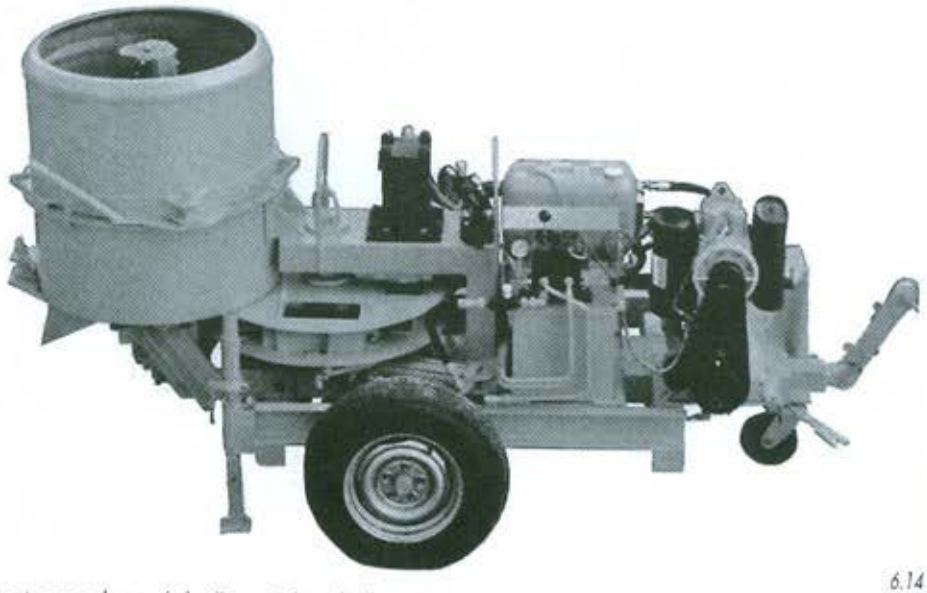
pe zi este doar de 150-200 de blocuri, considerabil mai puţin decât aceea a metodei primitive, care implică aruncarea lutului în matriţe.
În orice caz, avantajul acestor prese mecanizate este acela că poate fi folosit lut cu conţinut mai scăzut de apă. Acest lucru face posibilă stivuirea blocurilor imediat după producerea lor.
Dezavantajul este acela că, de obicei,

blocurile sunt stabilizate cu un conținut de ciment în proporții ce variază de la 4% până la 8% pentru a le conferi o rezistență mai mare. Acest lucru este necesar din cauza absenței unei cantități suficiente de apă, cât și de lipsa unui impact adecvat, capabil să stimuleze puterea de legare a mineralelor din argilă.
Fără ciment, blocurile presate, atunci când se usucă, au o rezistență la compresie mai mică decât a celor realizate manual, din chirpici (vezi pag. 44).
Un alt dezavantaj al acestor prese este acela că amestecul de pământ trebuie păstrat la un nivel constant de umiditate și compoziție. Dacă există variații ale compoziției, atunci atât volumul materialului ce urmează a fi umplut, cât și presiunea suferă modificări. Acest lucru determină variații privind dimensiunile și rezistența blocurilor.
Presele pentru blocuri complet automatizate, la fel ca cele prezentate în imaginile *6.14* și *6.15* au o capacitate de producție

6.13

6.15

de 1500 până la 4000 de blocuri zilnic. Totuși, aceste prese necesită investiții mari și pot fi dificil de întreținut, mai ales în cazul țărilor în curs de dezvoltare. Pentru a asigura o repartizare uniformă a lutului, astfel de aparate necesită, de obicei, concasoare și mixere separate.
Aceste prese, complet automatizate au potențial economic numai dacă au o durată de funcționare mare, sunt utilizate zilnic, pe termen lung și dacă materia primă, având o consistență egală, este disponibilă în zona respectivă și în cantități suficiente. Altfel, costurile ce implică investiția inițială, mentenanță și reparațiile vor diminua rapid orice potențial avantaj economic. În țările cu un venit mic, avantajul economic este reprezentat de producția manuală de chirpici după cum, în țările industrializate, avantajul este reprezentat de producția de cărămizi crude, în cadrul fabricilor de cărămidă. În țările industrializate, producția de cărămizi, folosind asemenea utilaje, ar fi economică doar dacă costurile de transport ar fi mai ridicate (pentru mai multe informații privind blocurile din pământ presat, vezi Mckerj. 1986; Smith și Webb, 1987; Ivlukerji, 1988; și CRATerre, 1991).
Metoda de producție dezvoltată în SUA de către Hans Stumpf și patentată în 1946, constând într-o mașină de produs blocuri pare, prin comparație, mult mai eficientă (*6.16* și *6.77*). Prin această metodă, lutul este adus la o consistență păstoasă într-un mixer și apoi turnat într-o pâlnie mare care se mișcă deasupra unui grilaj cu matrițe. Acestea sunt umplute, iar partea de deasupra a blocurilor este apoi netezită mecanic. O pârghie ridică acest grilaj, lăsând blocurile tăiate să se usuce pe pământ.
După o perioadă de uscare preliminară, blocurile pot fi întoarse pe muchii, pentru o uscare uniformă.
În fabricile de cărămidă mecanizate, pământul sfărâmat este amestecat și transportat pe o bandă într-un extruder, unde este iar amestecat și presat



6.14

6.13 Berbec CETA, Paraguay
6.14 Presa automatizată pentru blocuri CLU 3000, Elveția
6.15 Presa automatizată pentru blocuri (Pacific Adobe, SUA)
6.16 - 6.17 Tehnică de producție a chirpiciului dezvoltată de Hans Stumpf, SUA
6.18 Cărămizi crude uscându-se în aer liber la fabrica de cărămizi, Gilserberg, Germania
6.19 Crăpături de contracție care au apărut după ce cărămizile crude udate de ploaie s-au uscat
6.20 Tăind blocuri de pământ

6.18

printr-un muștiuc mecanizat în fâșii lungi, care sunt apoi tăiate cu o sârmă. Uscarea se face în cuptoare ce utilizează energie de larg consum. Cum în fabricile de cărămidă întregul proces este computerizat, ar putea fi mai dificil să comanzi cărămizi crude, iar prețurile cerute sunt uneori mai mari decât cele pentru obișnuitele cărămizi arse.
Pe de altă parte, folosindu-se un proces de producție mai simplu și uscarea în aer liber, cel puțin într-unul dintre cazuri, în Germania s-au putut obține cărămizi crude mai ieftine cu 40% decât cele obișnuite, arse.

6.16

6.17

Compoziția materialului

Lutul folosit în fabricile de cărămizi obișnuite necesită un conținut de argilă mai mare în vederea obținerii unei rezistențe suficiente după ardere. Imaginea *6.21* arată compoziția tipică a solului pentru acest tip de lut, conținând 24% argilă, 50% mâl, 23% nisip și 3% pietriș. Când lutul cu această compoziție este folosit pentru blocurile de pământ, se creează probleme de umflare și contracție atunci când blocurile sunt ude și, respectiv, când sunt uscate. Imaginea *6.19* arată crăpături apărute atunci când aceste cărămizi crude au fost folosite într-un proiect, în care zidul a fost udat complet de o ploaie neașteptată, în timpul construcției. Compoziția de lut nisipos, mai slab, potrivită pentru blocurile de pământ este prezentată în imaginea *6.22* . Aceasta are 14% argilă, 22% mâl, 62% nisip și 2% pietriș și nu prezintă fisuri de contracție după uscare.

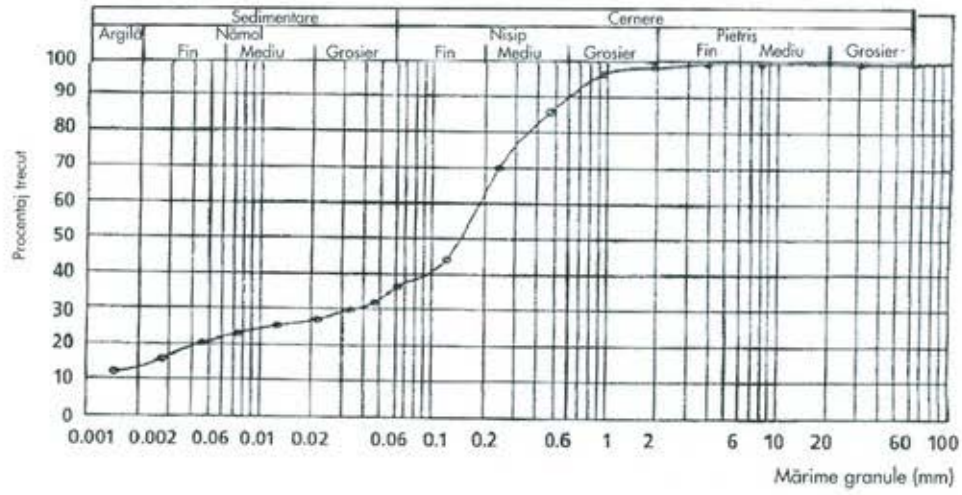
În general, se poate spune că blocurile de pământ trebuie să aibă suficient nisip brut, pentru a le permite să atingă o porozitate ridicată (și, prin urmare, o rezistență ridicată la îngheț), și o putere de compresie mare cu o minimă contracție. Dar în același timp trebuie să existe suficientă argilă, care să lege materialul și să permită manipularea blocurilor.

Așezarea blocurilor de pământ

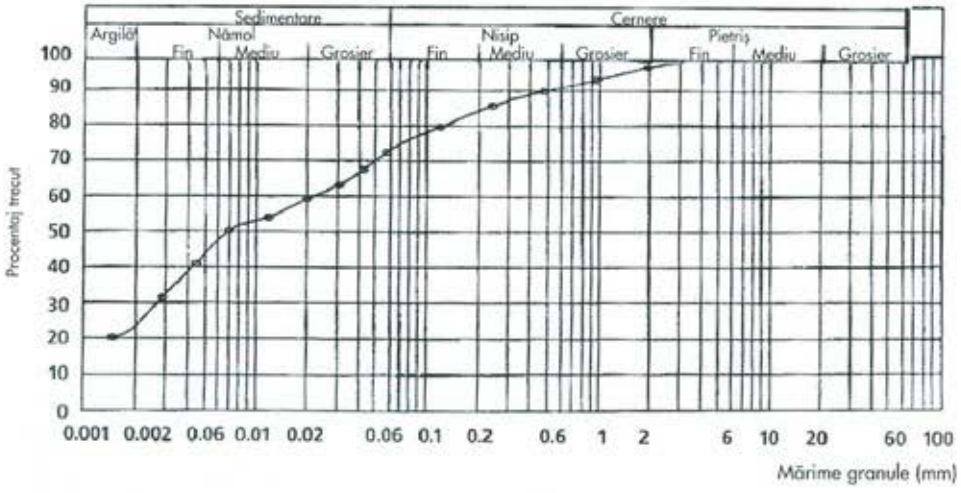
Este important ca blocurile de pământ să fie protejate de ploaie, în adăpost. De regulă, în țările industrializate, cărămizile crude comandate la fabrici sunt așezate pe palete și acoperite în întregime cu plastic. Blocurile de pământ sunt așezate fie pe un strat de mortar de argilă , mortar hidraulic sau pe un strat de mortar de var de calitate superioară. Chiar dacă se poate adăuga o cantitate mică de ciment la acest mortar, mortarul din ciment pur nu este recomandat, deoarece este prea rigid și prea ca-sant. Pentru evitarea crăpăturilor de contracție din mortar în timpul uscării, acesta trebuie să conțină o cantitate suficientă de nisip brut. Cantitatea de argilă poate varia de la 4% la 10%. Apariția crăpăturilor de contracție poate fi evitată și atunci când stratul de mortar este mai subțire decât în mod obișnuit. Este o plăcere să lucrezi cu mortar de argilă, deoarece acesta nu usucă pielea. Spre deosebire de mortarul de var, care atacă

6.19

6.20



6.21



6.22

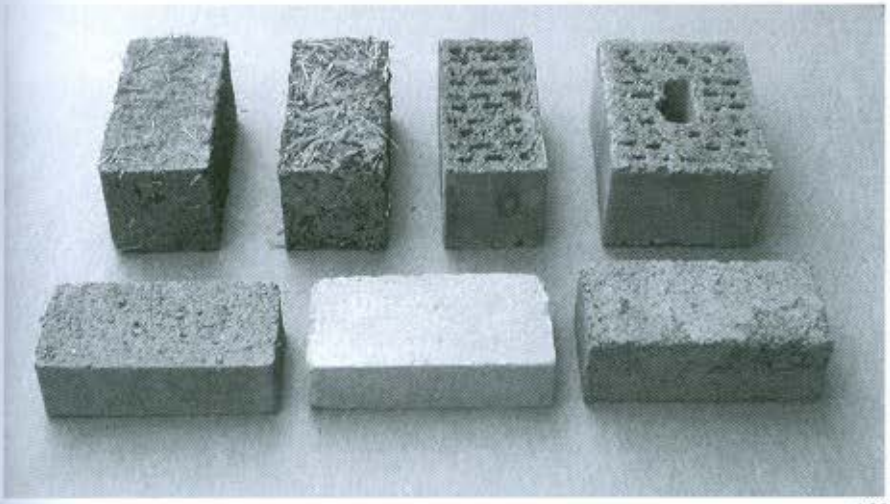
6.21 Distribuția pe mărimi a granulelor de lut folosit în fabricile de cărămizi.
6.22 Grafic cu distribuția optimă a mărimii granulelor pentru chirpici
6.23 Bloc de pământ exterior finisat cu o tencuială de argilă cu var nestins, Bendigo, Australia
6.24 Rafturi pentru cărți fixate pe un perete din blocuri de pământ
6.25 Cărămizi ușoare nearse, produse la scară industrială

pielea și poate provoca alergii.
Dacă blocurile sunt înmuiate în apă pentru o scurtă perioadă de timp, pentru a netezi și a putea lucra suprafața, este posibil să se construiască ziduri din blocuri de pământ fără a se folosi mortarul. Aceste blocuri ude pot fi, pur și simplu, stivuite, așa cum se procedează în orice lucrare de zidărie, și vor face priză. Totuși, într-o asemenea lucrare este nevoie de un ochi ager și de o execuție pricepută, deoarece este dificil să controlezi îmbinările de zidărie orizontală și modelul când nu există o consistență a mortarului.
Blocurile de pământ pot fi tăiate mult mai ușor decât cărămizile arse, folosind doar ferăstraie obișnuite, după cum se poate vedea în imaginea *6.20*. Dacă e nevoie doar de părți din blocul respectiv, acestea pot fi, pur și simplu, secționate cu un ferăstrău sau tăiate până la o adâncime de 2 cm, după care bucăți din blocul respectiv pot fi desprinse cu ajutorul unei lovituri de ciocan.
În locul unui ferăstrău, se poate cresta un șanț cu o mistrie sau un cuțit, înainte de a folosi ciocanul.

Tratarea suprafețelor

Dacă sunt suficient umezite cu o unealtă gen mistrie din pâslă, zidăria din blocuri de pământ cu suprafețe sau îmbinări inegale poate fi ușor uniformizată. Tencuirea nu este recomandată, deoarece afectează capacitatea zidurilor de lut de a menține echilibrul umidității aerului (vezi capitolul 1, p.16). Totuși, dacă nu este acceptabilă din punct de vedere estetic, zidăriei exterioare din blocuri de pământ i se poate aplica o baie de argilă stabilizată cu var nestins, cazeină etc. (*6.23*). Această operațiune are impact și la nivelul stabilității suprafeței zidului (pentru mai multe detalii privind tratarea suprafețelor, vezi capitolul 12, p.98).

6.23



6.25

Fixarea ranforsărilor în pereți

Cuiele pot fi bătute în zidurile făcute din blocuri de pământ mai ușor decât în cele construite din cărămizi arse. Cu cât materialul este mai poros și mai umed, cu atât se poate bate mai ușor un cui în el. Cărămizile crude au tendința să se sfărâme mai ușor decât blocurile de pământ și de chirpici. Dacă sunt folosite niște cuie foarte groase, este recomandabil să se facă o gaură în bloc. Rafturile grele sau vitrinele suspendate pot fi fixate de perete cu ușurință, folosind șuruburi și dibluri. În orice caz, găurile diblurilor trebuie făcute destul de mari pentru a preveni crăparea blocurilor. În *6.24*, rafturile grele de cărți sunt fixate pe un zid din cărămizi crude, folosind dibluri și șuruburi.

Blocuri de lut ușoare

Așa-numitele blocuri ușoare din lut sau cărămizi crude au o greutate specifică de mai puțin de 1200 kg/m^3 și sunt compuse din pământ argilos cu agregate ușoare, precum paiele, rumegușul, fibrele de celuloză, plută, perlitul, piatră ponce sau argilă expandată. Datorită efectelor lor de izolație termică, acestea sunt folosite pentru pereții exteriori în zone cu climă răcoroasă sau rece. Imaginea *6.25* prezintă câteva dintre aceste cărămizi nearse, care sunt produse la scară industrială în Germania.

Cărămizi nearse cu acustică specială

Pentru a optimiza comportamentul acustic al încăperilor cu bolți, a fost dezvoltată de către autor o cărămidă specială din lut, cu colțuri rotunjite (*6.27*). Colțurile rotunjite și efectul de consolă al cărămizilor (*6.26*)

6.24

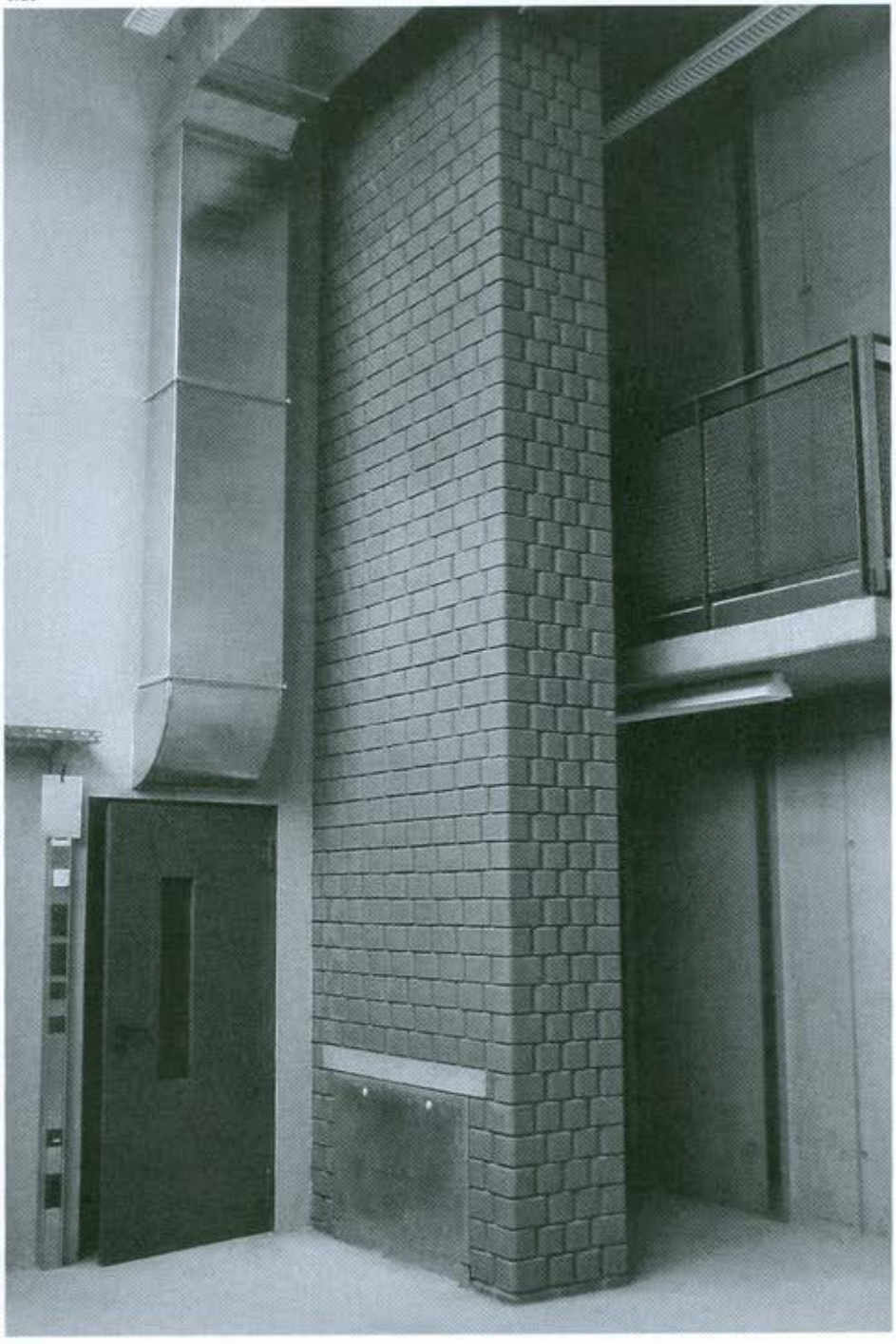
produc o distribuție bună a sunetului, în timp ce optima absorbție a sunetului este realizată de tăieturile îmbinărilor și de găurile din cărămidă. Imaginea *6.28* înfățișează un perete de 6 m înălțime din cărămizi nearse (crude), introduse cu scopul de a îmbunătăți acustica holului.

6.26

6.27

6.26 Detaliu al unei cupole din cărămidă de lut
6.27 Cărămidă specială din lut pentru a îmbunătăți comportarea acustică
6.28 Perete din cărămidă de lut

6.28



7 Blocuri mari și panouri prefabricate

7.1

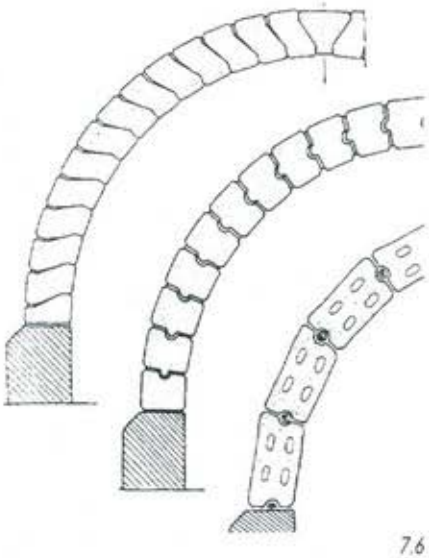
7.1 Realizarea blocurilor ușoare din lut cu paie
7.2 Perete exterior făcut din blocuri mari de lut ușor cu paie

Datorită zidurilor monolitice din lut, bătute cu maiul sau chiar a zidăriei din cărămidă de dimensiuni reduse, crește puterea de lucru, dar timpul de uscare poate întârzia munca de construcție din cauza apei inerente. Prin urmare, au fost dezvoltate mai multe idei, care implică elemente prefabricate mai mari.

Blocurile mari

Blocurile mai mari pot fi așezate mai rapid, cu condiția ca acestea să fie destul de ușoare pentru a fi cărate într-o singură mână sau cel mult cu amândouă. Agregatele ușoare și golurile pot fi folosite pentru a reduce greutatea. Pentru o manevrare ușoară, clemele ar trebui să fie încorporate în formele cărămizilor. Blocurile ușoare din paie de 50 x 60 x 30 cm, folosite în mai multe proiecte de arhitectul german Sylvester Dufter, sunt mai eficiente la clădirea pereților. Deși fiecare bloc cântărește 26 kg, acestea sunt produse în locuri adăpostite și în apropierea zidului, iar după aceea pot fi aproape întoarse în pozițiile lor finale (vezi *7.1* și *7.2*). Folosind astfel de blocuri, dintr-un perete de 50 cm grosime rezultă un indice U de 0,3 W/m^2K. Dufter a condus mai multe proiecte de bricolaj, folosind aceste blocuri. Într-unul dintre cazuri, familia proprietară și constructoare a produs 1500 de blocuri în cinci săptămâni, suficiente pentru întreaga casă. Blocurile ușoare din lut mineral, măsurând 15 x 15 x 30 cm, care sunt făcute din lut și din argilă expandată, au fost produse în Ungaria, cu ajutorul unei mașini denumită „egg layer" (de tipul celor

7.2



7.6

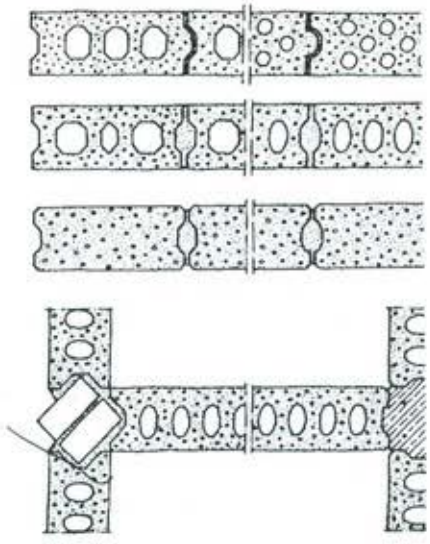
utilizate la realizarea blocurilor de beton) (*7.3*). Asemenea blocuri erau folosite pentru a asigura o izolație termică exterioară suplimentară, pentru o casă cu ziduri de pământ bătătorit cu maiul, din Tata, Ungaria (*7.4*). Secțiuni diferite pentru panourile de perete mai mari, făcute din lut mineral ușor și dezvoltate de autorul acestei cărți, sunt prezentate în *7.5*. Acestea pot fi folosite atât la pereții interni sau pentru a crește izolația termică a zidurilor exterioare. Golurile reduc greutatea și cresc izolația termică, furnizând în același timp cleme, pentru o manevrare ușoară. Ilustrația *7.6* arată elemente similare care pot fi folosite pentru realizarea bolților.

Panouri din pereți prefabricați

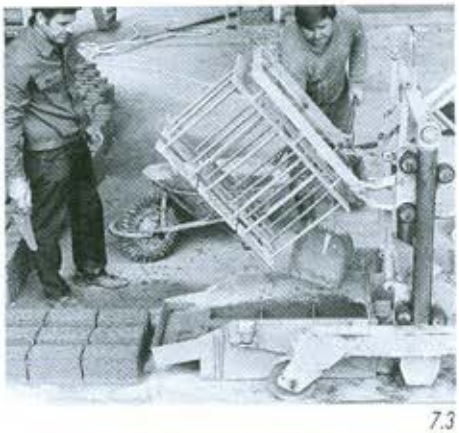
Elementele prefabricate, fiecare având o grosime de 6 până la 12 cm și măsurând între 30 x 60 cm și 62,5 x 100 cm, sunt folosite pentru elementele de reazem. Acestea ar trebui făcute din lut ușor cu densitatea de 800 până la 1,000 kg/m^3. Panourile mai ușoare de 800 kg/m^3 trebuie netezite cu cherestea, deoarece rezistența marginilor lor este insuficientă pentru mânuire. Un element foarte ușor, cu o densitate de 550 kg/m^3, a fost dezvoltat de firma germană Breidenbach; este făcut din rogojini de stuf, tencuite cu lut și acoperite cu material de iută. Ilustrația *7.7* prezintă un perete construit cu elemente „Karphosit", care sunt produse din praf de argilă și așchii de paie și au o densitate de 850 kg/m^3. Acestea măsoară 62,5 x 25 x 10 cm. Firma germană HDB Weissinger produce elemente pentru pereții de paiantă, late de 1 m și înalte de până la 3m, umplute cu lut ușor (*7.8* și *7.9*).

Planșee

Elementele de lut, care servesc ca umpluturi pentru pardoseli, furnizează, de



7.5



7.3

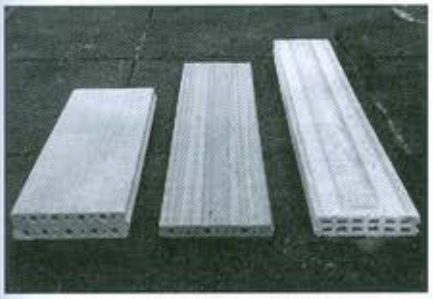
7.4

7.7

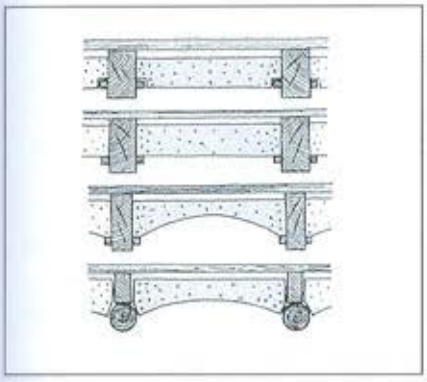
7.3 Realizarea blocurilor din lut mineral ușor, Tala, Ungaria
7.4 Folosirea blocurilor din lut mineral ușor, ca izolație termică externă suplimentară, pentru peretele de pământ bătut cu maiul, Tata, Ungaria
7.5 Blocuri din lut ușor pentru construcția zidurilor
7.6 Blocuri din lut ușor pentru bolți
7.7 Perete interior făcut din panouri de lut ușor

7.9

7.11



7.13



7.10

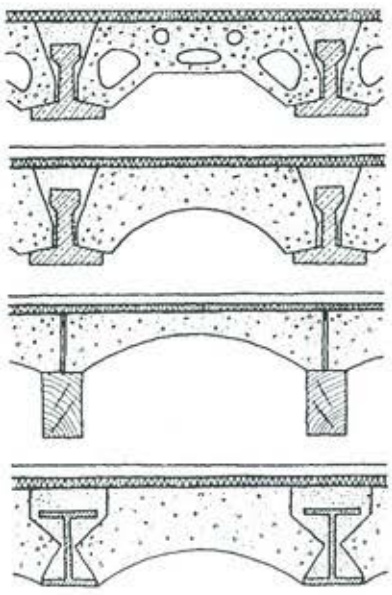
asemenea, o izolație fonică și termică (*7.10*). În Ungaria, în 1987, autorul acestei cărți a dezvoltat elemente portante cu un lut ușor, stabilizator de ciment. Ilustrația *7.11* arată un astfel de element, împreună cu matrița sa. Ilustrația *7.12* înfățișază modele variate pentru panourile portante ale pardoselii.

Dale de pardoselă

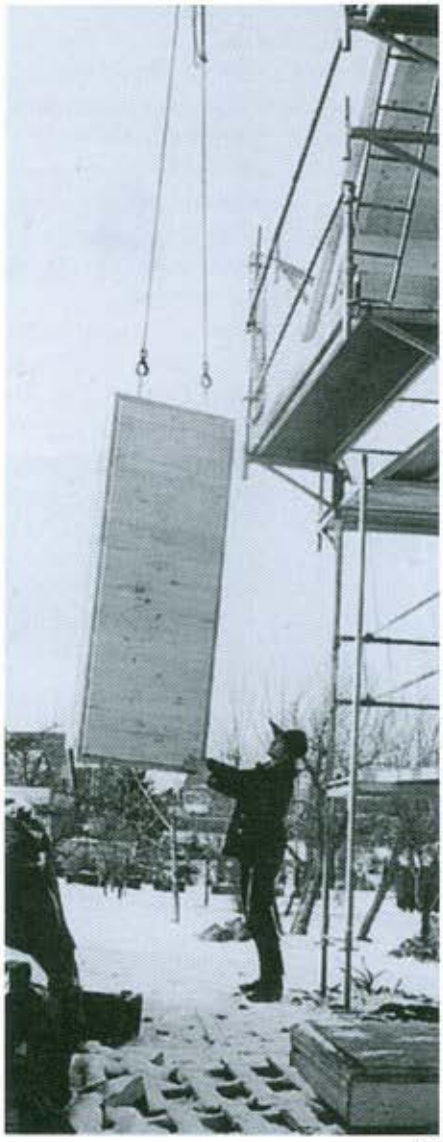
Dalele prefabricate făcute din lut stabilizat pot fi folosite pentru pardoseli. Un avantaj este că, acestea fiind deja uscate, contracția are loc doar la îmbinări. Miller, Grigutsch și Schulze (1947, p.5) recomandă folosirea de Fe_3O_4, roșu închis și gudron, pentru a consolida aceste dale și a le asigura o soliditate a suprafeței. Testele din cadrul Laboratorului de Cercetări al Construcțiilor (LCC) au arătat că un nivel ridicat de soliditate a suprafeței ar putea fi obținut adăugând 6% ulei din semințe de in dublu rafinat împreună cu compactarea suprafeței și folosirea cerii de parchet drept lustru. Metodele de creștere a durității suprafețelor sunt descrise în capitolul 14, p.112.

Dale din lut extrudat

Ilustrația *7.13* prezintă dale extrudate crude din lut, constând dintr-un lut cu un conținut mare de argilă. Acestea sunt extrudate având o grosime de 3 până la 10 cm, o lățime de 50 cm și sunt tăiate în lungimi de până la 100 cm sau mai mult.



7.12



7.8

7.8 – 7.9 Elemente structurale umplute cu lut ușor
7.10 Umplerea cu elemente de lut pentru pardoseli
7.11 Umplerea cu lut portant ușor, stabilizat cu ciment, Ungaria
7.12 Dale de pardoseală portante, din lut
7.13 Dale extrudate din lut, Germania

8 Modelarea directă cu lut umed

8.2

8.1

8.1 Modelarea unei bănci din lut ud
8.2 Fisuri de contracție în aceeași bancă, după uscare
8.3 - 8.4 Construirea pereților folosind bulgări de pământ ud, în nord-estul Ghanei (conform lui Schreckenbach, fără dată)
8.5 Casă cu grădină din Nankansi, Ghana de Nord

Spre deosebire de alte materiale de construcție, lutul ud are capacitatea de a putea fi modelat în orice formă. De aceea, el reprezintă o provocare creativă pentru proiectanți și constructori. Prelucrarea manuală a zidurilor din bucați de lut umed sau dintr-o pastă groasă de lut este larg răspândită în Africa și Asia și este, de asemenea, cunoscută în Europa și America. Întrucât nici o unealtă nu este necesară pentru a lucra cu pământul, aceasta este cea mai simplă și mai primitivă tehnică. Amestecul preparat este folosit direct (fără produse intermediare și fără procese tranzitorii). Dezavantajul său este acela că și lutul slab, de doar 10% până la 15% argilă, prezintă o contracție lineară de 3%-6%, la uscare. Cu cât este mai ridicat conținutul de argilă și cu cât este folosită mai multă apă, cu atât este mai mare contracția. Pasta groasă de lut, cu un conținut ridicat de argilă, ar putea chiar să aibă un indice de contracție liniară de peste 10%.

Imaginile *8.1* și *8.2* prezintă o bancă obținută din elemente din lut umed, pentru care nu s-a ținut cont de contracție. Paragrafele următoare explică felul în care crăpăturile de contracție de mici dimensiuni proiectate în avans pot fi de folos, pentru a reduce sau chiar a evita astfel de crăpături. Teoria care se referă la reducerea contracției, prin modificarea compoziției lutului, este explicată în capitolul 4, p.39.

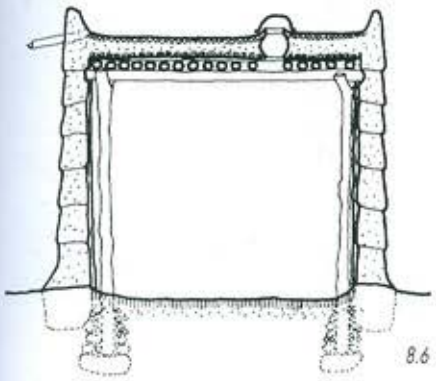
Tehnici tradiționale cu lut umed

În timp ce în cazul lucrului cu blocurile de pământ, elementele uscate sunt zidite cu mortar, la pereții modelați din lutul umed nu se folosește mortarul. Lutul maleabil este legat, pur și simplu, prin bătătorirea cu maiul, lovire, presare sau aruncare.
În India de Sud, o tehnică foarte simplă de folosire a lutului umed este încă folosită și astăzi: utilizând o sapă, pământul este amestecat cu apă până se ajunge la o consistența păstoasă, este transportat până la locație în recipiente de metal, ținut în echilibru pe capul muncitorului și apoi turnat pe zidul în construcție. După aceea este întins cu mâna în straturi cu grosimea de
2-4 cm. Întrucât pasta se usucă extrem de repede la soare, zidul poate fi construit în mod continuu, strat după strat.
În Ghana de nord-est este folosită o altă tehnică. Aici, sunt alcătuiți bulgări din pământ ud și apoi sunt folosiți pentru a construi ziduri circulare, doar prin așezare și presare (*8.3* și *8.4*). După ce zidul se usucă, suprafața este tencuită pe ambele părți și apoi netezită și lustruită, folosindu-se pietre turtite, printr-o mișcare

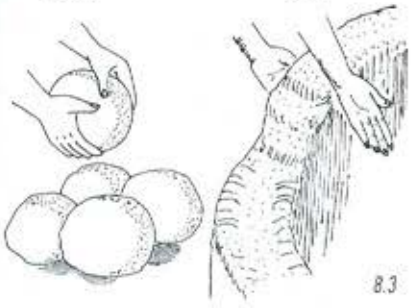
8.5

8.6 Construcție tradițională din lut ud, Ghana de nord-vest (conform lui Schreckenbach, fără dată)
8.7 Locuință tipică, Ghana de nord-vest (conform lui Schreckenbach, fără dată)

de rotație și frecare.
Imaginea *8.5* prezintă o parte de construcție realizată printr-o tehnică primitivă similară. În Ghana de nord-vest, pereții de 40 cm grosime sunt construiți cu bulgări de lut ud, folosind o altă tehnică tradițională. Aici, aceștia sunt așezați în straturi, pentru că fiecare strat succesiv să se suprapună ușor cu cel anterior (*8.6*). Camerele acestor case sunt mai mult sau mai puțin dreptunghiulare și au colțuri rotunjite (*8.7*). În nordul Yemenului, casele cu multe etaje sunt construite folosind o tehnică a lutului ud numită *zabur* (*8.8, 8.9* și *8.10*). Aici, bulgării de lut cu paie sunt modelați manual și aruncați printr-o lovitură puternică, pentru a construi peretele într-un asemenea mod, încât ei se compactează și aderă la stratul anterior, formând o masă omogenă. Suprafața este adesea bătută și compactată prin ciocănire, cu un fel de mistrie din lemn. Tehnica de a construi folosind cocoloașe de lut numită „cob" a fost larg răspândită în Anglia de sud-vest, începând cu secolul 15 și a fost folosită cel puțin până în secolul 19, în special în Devon. Hill descrie această tehnică după cum urmează: un bărbat stă cu o furcă cu trei dinți pe plinta peretelui, în timp ce un al doilea bărbat formează bulgări de mărimea a doi pumni. Cel de-al doilea bărbat aruncă apoi bulgării spre primul, care îi prinde în furca lui și, mergând cu spatele, îi aruncă spre perete. Acolo unde este necesar, el mai și compactează peretele cu picioarele. În acest mod, sunt construite straturile de 50-60 cm înălțime.
Pentru a-i conferi o finisare netedă, suprafața este tăiată în bucăți. Grosimile pereților sunt în general de 45-60 cm (McCann, 1983). Imaginea *8.12* prezintă o casă, încă locuită, din Cockington (Devon, Anglia) care a fost construită, în 1410, folosind această tehnică.
O tehnică similară numită Wellerbau, este



8.6



8.3

8.4

8.7

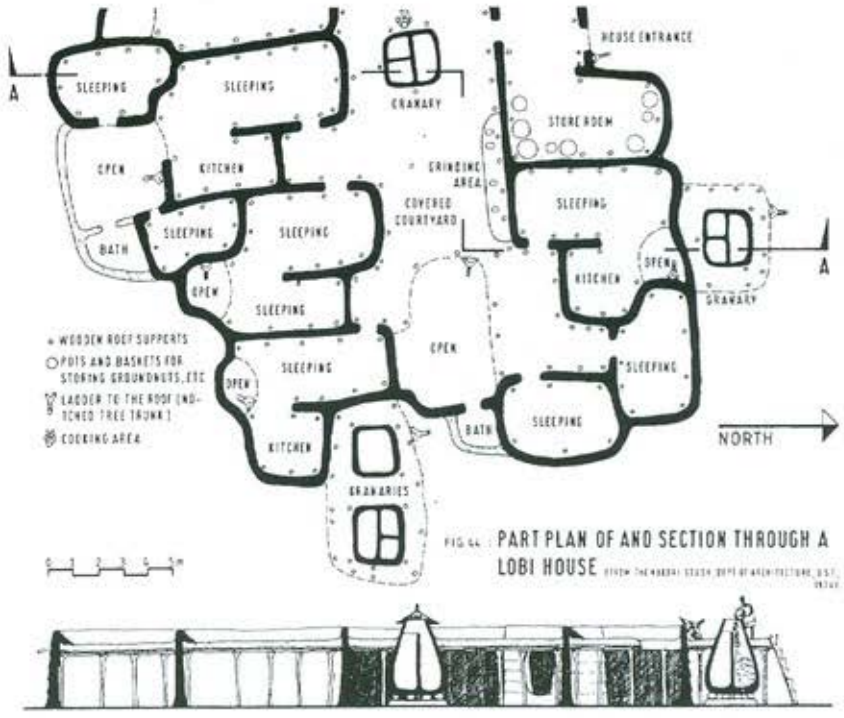


FIG 44 PART PLAN OF AND SECTION THROUGH A LOBI HOUSE

8.8

8.9

cunoscută în Germania din timpurile medievale și a fost în mod special răspândită în Thuringia și Saxonia. Aici, lutul din paie nu este format în cocoloașe, precum în tehnica „bulgăre", nici compactat prin aruncare, ca în tehnica *zabur*, ci este direct stivuit cu o furcă și apoi compactat folosind picioarele sau berbecii (*8.11*). Peretele este construit în straturi de 80-90 cm. După o perioadă scurtă de uscare, suprafața acestor straturi este netezită cu o sapă trapezoidală.

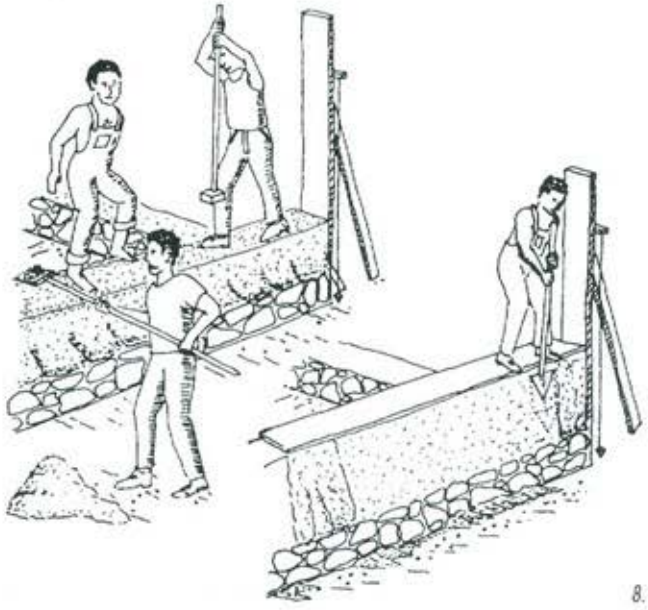
Tehnica „turte de lut - Dünne" (Dünner-Lehmbrote)

În Africa de Nord erau cunoscute tehnici similare cu cele folosite în Slovacia și Yemen, precum sunt descrise mai sus. Acestea l-au inspirat pe Gustav von Bodelschwingh, un misionar german, să le adapteze la condițiile nemțești. Tehnica rezultată primește denumirea de la orășelul Dünne, acolo unde a fost pentru prima dată folosită.
Aici, pâinile ude de lut sunt stivuite în forme de zidărie, dar fără mortar. Pentru a asigura o aderență mai bună a tencuielii, care este aplicată ulterior, se face o gaură conică pe partea exterioară a fiecărei pâini, folosind degetul (vezi *8.73*). Trei până la cinci straturi sunt așezate pe zi.
Un ipsos de var, gros de câteva straturi, este folosit după ce peretele s-a uscat.
Prima casă de acest gen a fost construită în 1925 (*8.14*). În următorii cinci ani, mai mult de 300 de case au fost construite de cooperative, formate din muncitori șomeri, la inițiativa lui von Bodelschwingh. Familiile membrilor au participat în întregime la producție și construcție.

Tehnica „funii de lut" *stranglehm*

În cadrul Laboratorului de Cercetare în Construcții (LCC) a fost dezvoltată, în 1982, o nouă tehnică a lutului ud, denumită *stranglehm* („sfoara de lut"). Prin această tehnică pot fi construite ziduri, bolte și

8.10



8.11

8.12

8.8 Case cu mai multe etaje făcute folosind Tehnica *zabur*, Yemen
8.9 - 8.10 Construirea unui perete din lut, folosind Tehnica *zabur*
8.11 Tehnica tradițională *Wellerbau*, Germania
8.12 Construcție tip bulgăre din 1410, Cockington, Devon, Anglia
8.13 Un zid netencuit al unei șure de oi, Dünne, Germania
8.14 Reședință, Dünne, Germania

8.13

8.14

cupole. Pot fi realizate chiar și mobilă încastrată și obiecte sanitare, așa cum sunt ele descrise în capitolul 14, p.133.

Producția de elemente *stranglehm*

Pentru a produce profile de lut ud, a fost dezvoltat un aparat de extrudare de către LCC. Folosind acest aparat, profilele de lut ud, în secțiuni de 8 x 16 cm pot fi produse la o rată de 2 m pe minut (1.4m^3/h). Acest prototip, care a fost aranjat vertical, așa cum se vede în *8.15*, a fost mai târziu rafinat, producând un randament de 3 m pe minut (2m^3/h), folosind un aranjament orizontal, precum se vede în *8.16*. Aparatul constă dintr-o secțiune de alimentare cu doi cilindri invers-rotativi, care amestecă materialul, înainte de a-l transporta către o zonă de cuțite rotative, pentru amestecat. Materialul este apoi mutat într-un angrenaj cu melc, care creează o presiune suficientă pentru a forța materialul în afara ajutajului de extrudere.

Prepararea amestecului

Testele cu 30 de amestecuri diferite, inclusiv câteva care conțineau paie, rumeguș și ace de pin, au arătat că reducerea și creșterea prin contracție a randamentului era neglijabilă, indicând că munca
suplimentară și efortul implicat în introducerea acestor aditivi nu erau profitabile. În orice caz, adăugarea zerului a crescut ușor randamentul și a dat o rezistență mai bună la apă și o soliditate a suprafeței. Praful de cazeină și apa pot fi înlocuite cu zerul. Amestecul pentru această tehnică trebuie să aibă un conținut mai ridicat de argilă, decât cel pentru blocurile de pământ bătut cu maiul.

8.15

8.16

8.15 Extruder vertical pentru profile extrudate de lut (Heuser)
8.16 Extruder orizontal pentru profile extrudate de lut (Heuser)
8.17 - 8.18 Ziduri din profile extrudate de lut, locuința de testare, Universitatea din Kassel, 1982

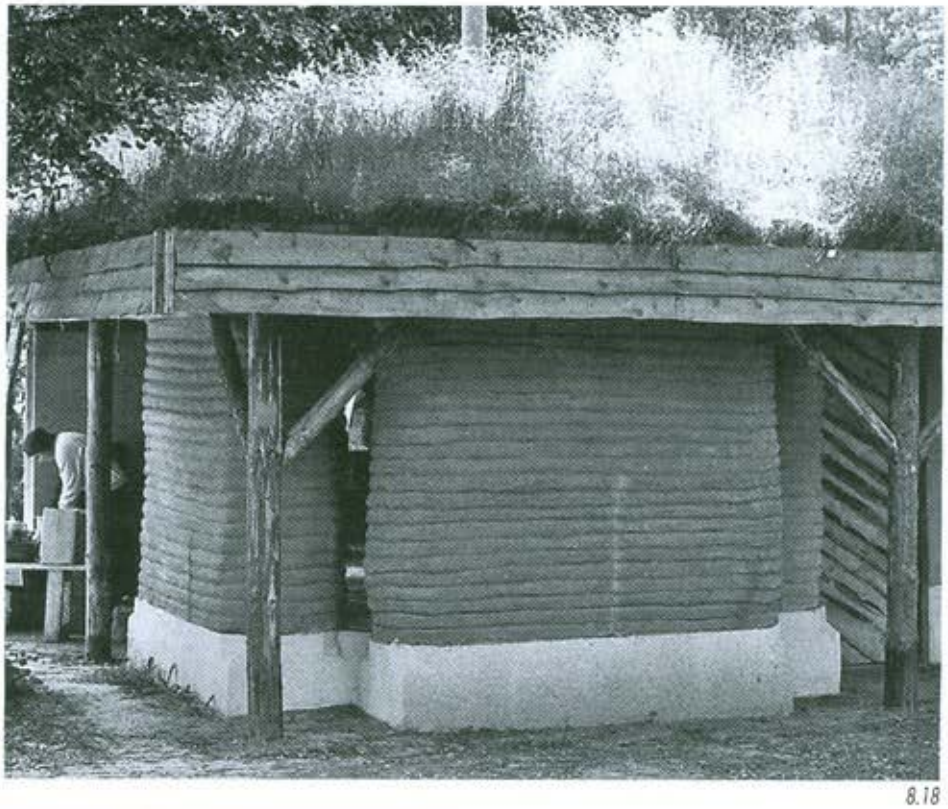
Un conținut de argilă de 15% a fost considerat avantajos. Elementele de lut cu conținut de argilă mai scăzut prezentau crăpături la colțuri. Conținutul trebuie să fie optimizat, astfel încât profilul final să fie destul de uscat pentru a fi mânuit și totuși, destul de ud pentru a se lipi, atunci când este așezat în perete.

Așezarea elementelor

În primul test de construcție, realizat de Universitatea din Kassel, Germania, în 1982 (*8.17* și *8.18*), profile extrudate de 2 m lungime au fost transportate pe o planșetă și răsturnate pe perete. Îmbinările au fost finisate, prin apăsarea lor cu mâinile goale sau cu o bară de modelare. Întrucât greutatea straturilor superioare nu are voie să preseze materialul de mai jos, doar trei până la cinci straturi sunt posibile de realizat într-o zi.

Deoarece aceste profile au prezentat o contracție de aproximativ 3%, a fost necesară reumplerea crăpăturilor contracției, care au apărut. Pentru că acest lucru era laborios, la următoarea punere în practică a acestei tehnici într-o casă de Reședința din Kassel, Germania, în 1984, au fost folosite doar profile de 70 cm lungime.

Rezultatele au arătat că la această lungime și cu o contracție proiectată pentru îmbinările poziționate la 70 cm nu apare contracție între elementele propriu-zise. Extruderul era poziționat în mijlocul casei, pentru a minimiza distanțele de transport. Imaginile *8.19, 8.20, 8.21* și *8.22* prezintă producția, transportul și așezarea acestor elemente. Zidurile acestui proiect au structură de lemn, cu travei de 2,1 m. Panoul astfel format este împărțit în trei părți cu elemente verticale de lemn de 4 x 4 cm, la interval de 0,7 m. Acestea funcționează ca lambe, montate în elemen-



8.18

8.17

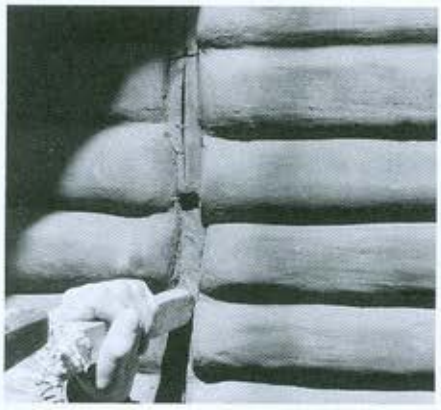
tele de lut pentru a furniza stabilitate laterală. Pentru a asigura separarea acestor elemente, în timpul procesului de uscare, se face o tăietură cu o mistrie, pentru ca îmbinările să funcționeze ca rosturi de contracție proiectate dinainte.

8.19

8.23

8.21

8.20

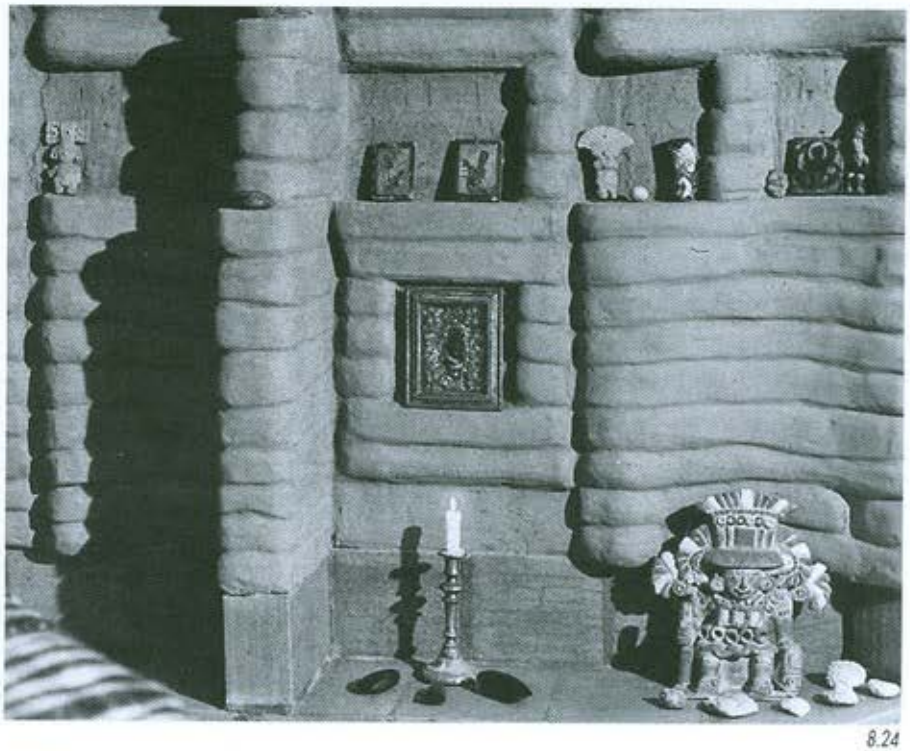


8.25

8.22

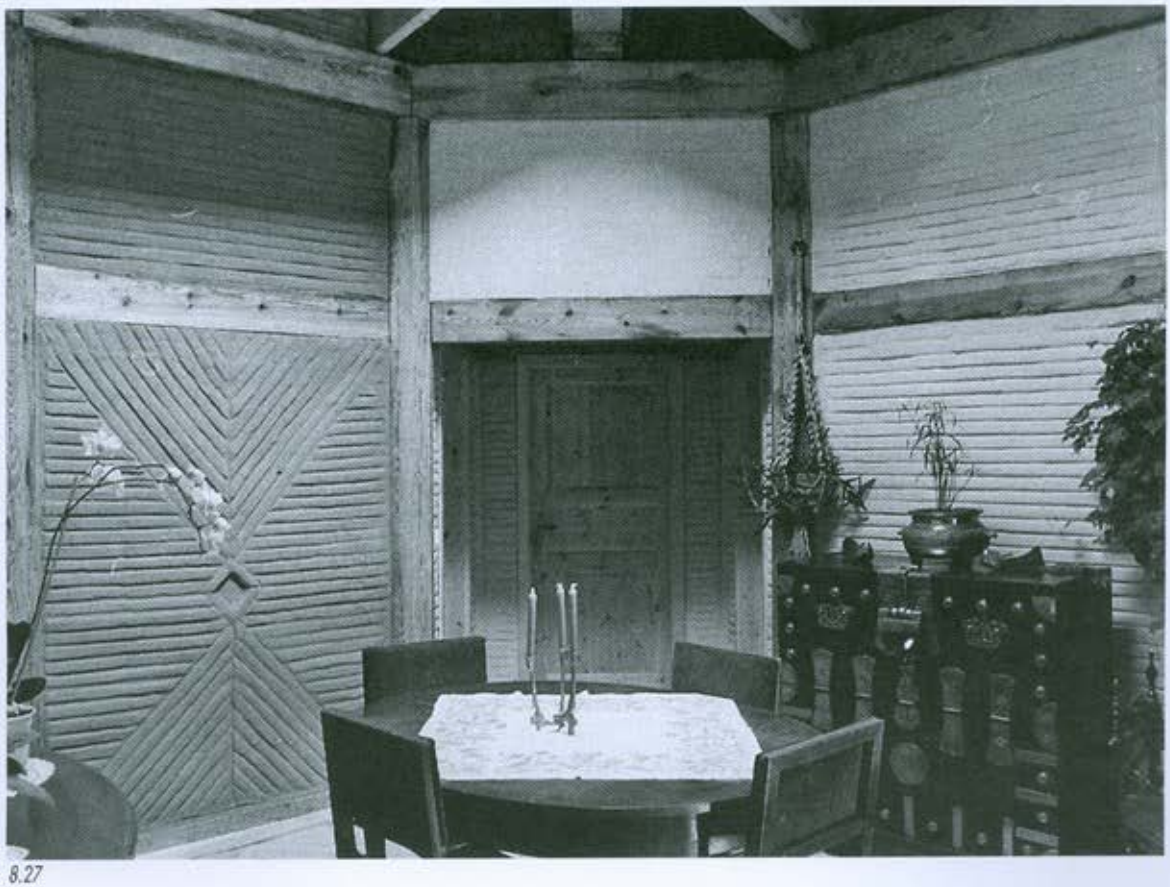
8.19 Extrudarea profilelor de lut
8.20 - 8.22 Aşezarea profilelor extrudate de lut, într-o structură de plastic
8.23 Netezirea suprafeţei cu un burete ud
8.24 Perete interior sculptat, făcut din profile extrudate de lut
8.25 Umplerea unei îmbinări de contracţie, cu un lut uşor umed.

La uscare, această gaură se lărgeşte din cauza contracţiei şi poate fi în mod avantajos umplută, când este uscată, cu un amestec de var, gips, nisip şi lut. Este foarte uşor de netezit suprafaţa acestor elemente cu un burete umed (*8.23*), deşi, pentru a obţine un efect de structură bogată şi regulată (aşa cum se vede în fotografii), ar trebui să se modeleze mai mult de mână, înainte de a da cu buretele. Imaginea *8.24* prezintă umplerea unei îmbinări de contracţie, cu un lut uşor umed, folosind un ciocan şi un instrument de lemn. Imaginile *8.26* şi *8.27* arată pereţii finalizaţi. Zidurile alcătuite din aceste elemente pot fi modelate uşor în



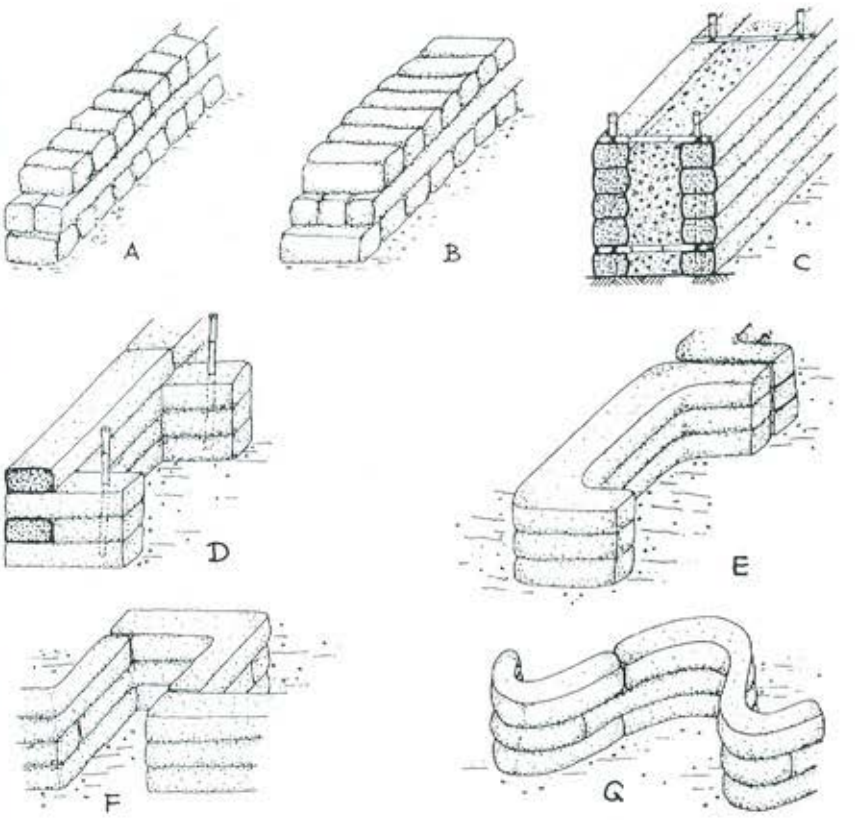
8.24

8.26



8.27

8.26 Perete interior finisat, făcut din profile de lut extrudat
8.27 Pereți terminați de tip stranglehm, Reședința, Uchte, Germania (1986)
8.28 Variații ale pereților interni și externi, folosind Tehnica *stranglehm*
8.29 - 8.30 Realizarea pereților prin Tehnica *stranglehm*, în modele diferite

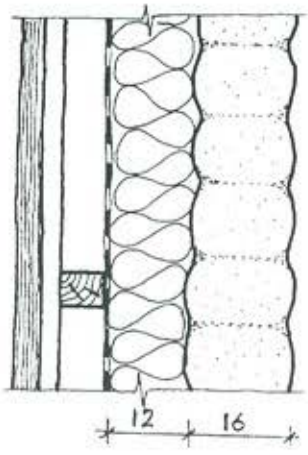


8.28

stadiu umed; un exemplu finalizat este prezentat în *8.25*, unde peretelui i s-a adăugat materialul, fiind apoi sculptat.

Tipuri de pereți

Din cauza contracției de 3% până la 5%, elementele lungi nu sunt recomandate. Imaginea *8.28* prezintă mai multe posibilități pentru pereții interni și externi, folosind elemente mai scurte.
Soluția C din această figură este destinată doar pereților exteriori.
Spațiul dintre cele două ziduri extrudate din lut poate fi umplut cu material afânat ușor, precum particulele de plută, argilă expandată, piatră ponce etc. pentru a crește izolația termică. Elementele structurale pot fi, de asemenea, așezate în acest spațiu. Dacă ceilalți pereți prezentati trebuie să fie prevăzuți cu izolație termică, se ofera o soluție universală în imaginea *8.31*, valoarea U a peretelui ilustrat fiind de 0,295 W/m^2K.
Imaginile *8.27*, *8.29* și *8.30* prezintă lucrul realizat într-o casă rezidențială din Germania, cu profile extrudate mai mici, din lut, obținute de la o fabrică de prelucrare de cărămizi. Din cauza procesului de producție, acest lut a trebuit să aibă un conținut mai mare de argilă, provocând astfel multe probleme de contracție; reparația crăpăturilor care a avut loc, s-a dovedit a fi o mare risipă de timp.

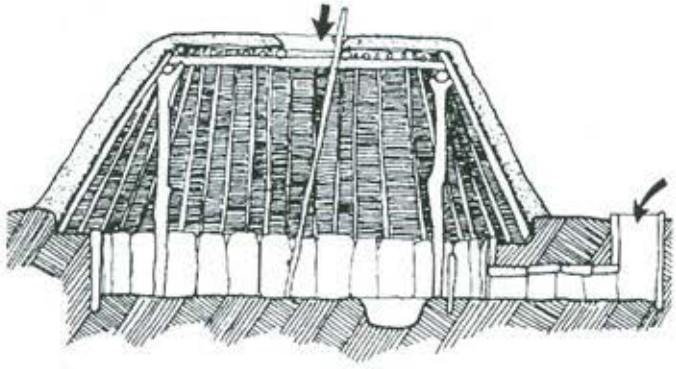


8.31

8.29

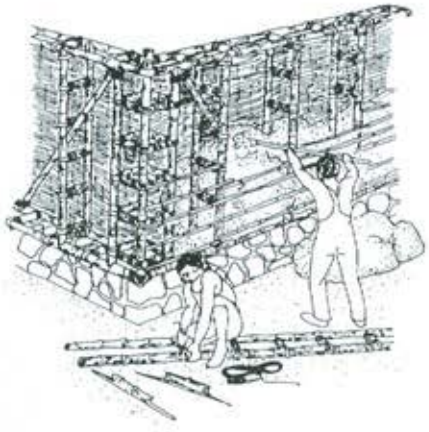
8.30

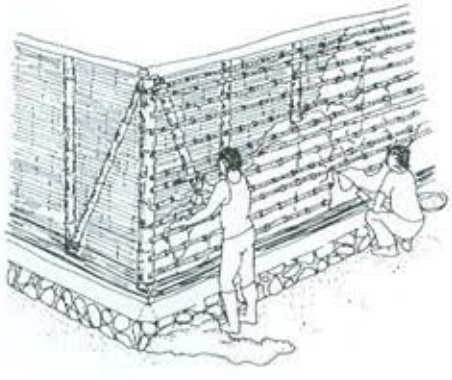
9 Umplerea structurilor schelet (*Fachwerk*) cu lut umed



9.1

Lutul maleabil a fost folosit de mii de ani pentru umplerea golurilor de la casele de bârne, acolo unde buștenii sunt așezați orizontal, cât și în palisade (unde trunchiurile de copaci sunt poziționate vertical). La casele tradiționale europene de tip Fachwerk (cu pereți de paiantă), precum și în structurile vălătuc din America, Africa și Asia, lutul ud (conținând, de obicei, paie tăiate) este aruncat pe o plasă împletită din crengi, ramuri, bețe de bambus și altele la fel (9.1) așa cum se arată în acest capitol, există multe variante ale acestei tehnici. Tehnicile moderne de umplere, care folosesc aparatura mecanică pentru a reduce efortul de muncă, sunt descrise în acest capitol.





9.2

Lut aruncat

Tehnicile de aruncare a lutului s-au folosit în toate zonele cu climat tropical, sub-tropical și moderat din lume și, probabil că sunt mai vechi, decât practicile care foloseau pământul bătut cu maiul și blocurile de pământ. Aceste tehnici de amestecare a lutului cu nuielele sunt denumite *bahareque, bajareque, bareque* sau *quincha* în spaniolă și *lehmbewurf* în germană.

Astfel de structuri sunt alcătuite din elemente dispuse orizontal și vertical, ce formează o rețea. În sistemele europene se folosesc, de obicei, elemente din lemn împletite cu ramuri (*9.4*). Lutul, cel mai adesea amestecat cu paie tăiate și, uneori cu fibre lemnoase, este aruncat sau presat pe această rețea, astfel încât să acopere cel puțin 2 cm din toate elementele. Dacă acest înveliș nu este destul de gros, iar crăpăturile nu sunt bine reparate, zidurile se vor deteriora foarte repede (*9.3*).

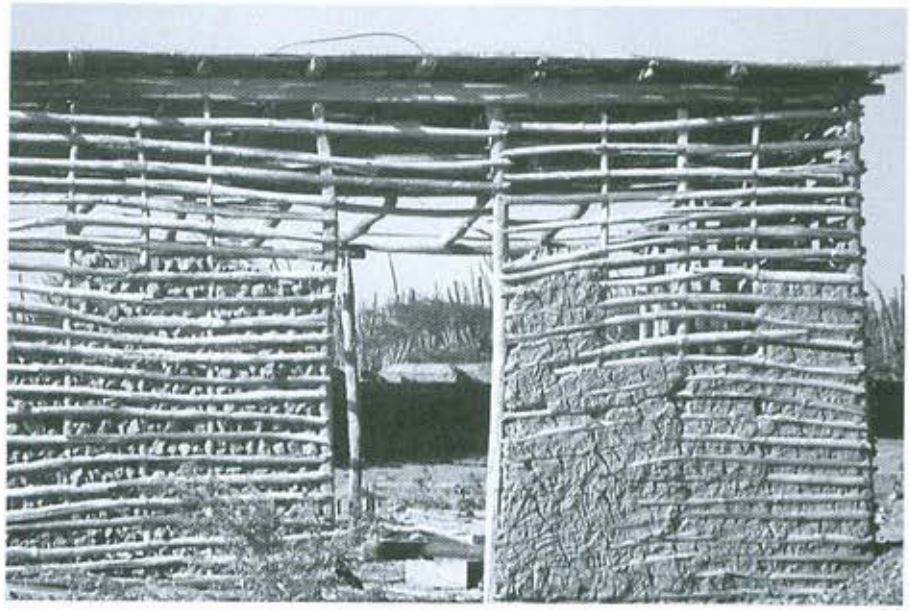
Consistența mortarului care se folosește este ușor verificată dacă se lasă să cadă o bilă, cu diametrul de 10 cm, pe o suprafață dură, de la înălțimea de 1 m. Dacă diametrul discului aplatizat, astfel format măsoară între 13-14 cm, consistența mortarului este cea bună.

Imaginile *9.2* și *9.5* prezintă o variație a tehnicii vălătuc, în care dimensiunea plasei este mai mare (ochiuri până la 20 cm pe o parte) și unde există o rețea interioară și exterioară. Spațiile din grilajul astfel format sunt umplute cu bulgări de lut. Pietriș brut și chiar pietrele sunt uneori folosite ca plombă. Tipul de zid prezentat în *9.5* este construit din componente prefabricate și a fost folosit în câteva proiecte de construcții de locuințe ieftine, în Bahia, Brazilia.

Lut stropit

De vreme ce tehnicile vălătuc sunt foarte solicitante din punct de vedere al muncii depuse, s-au făcut numeroase încercări de folosire a unor mașini de pulverizat pentru

9.5



9.3

9.4

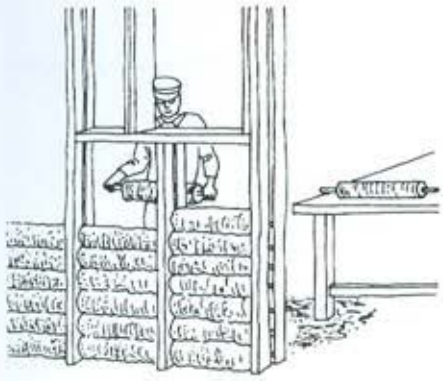
9.6

9.1 Coliba săpată în pământ, tradițională a indienilor Pueblo, secolul 3 d.Hr. (Bardou, Aezoumanian, 1978)
9.2 Variații ale tehnicii vălătuc (după Vorhauer, 1979)
9.3 Construcție tradițională din vălătuci, Venezuela
9.4 Tehnică vălătuc tradițională, Germania
9.5 Sistem de vălătuci prefabricați, Brazilia
9.6 Pulverizarea lutului ușor

aplicarea amestecurilor.
Principala problemă comună a tuturor acestor tehnici a fost apariția, în mod curent, a crăpăturilor de contracție.
Arhitectul german Hans-Bernd Kraus a dezvoltat o tehnică, în care un amestec subțire de lut este pulverizat concomitent cu rumegușul uscat (printr-o duză separată). Ambele pulverizatoare se amestecă, înainte să atingă peretele. Straturi de 4-6 cm grosime sunt pulverizate pe plăci de aglomerat lemnos, folosite drept cofraje false.
Aceste plăci conferă și o considerabilă izolație termică (*9.6*). Un alt lut ușor ce poate fi pulverizat, folosit pentru mărirea izolației termice a zidurilor este descris în capitolul 11, p.95.

Role și sticle de lut din paie

În Germania și Franța, golurile dintre elementele de structură ale caselor tradiționale cu schelet din lemn sunt uneori umplute cu elemene alcătuite din lut răsucit, cu paie, în jurul unei scânduri groase din lemn, așa cum se vede în *9.7* și *9.8*. Această tehnică este mai puțin solicitantă fizic decât tehnica vălătuc și, în plus, are avantajul că foarte rar apar crăpăturile de contracție.
Sunt folosite două sisteme principale: fie o funie de paie înmuiată în lut este înfășurată elicoidal, în jurul unei scânduri groase din lemn, ori un înveliș din paie lipite cu lut este rulat pe scândură de lemn. Munca cerută de aceste tehnici este mai mare decât în cazul tehnicilor ce folosesc „fâșii de lut" (vezi capitolul 8). O variație a tehnicii prin rulare a fost testată cu succes, în Laboratorul de Cercetare în Construcții (LCC).
S-a folosit un mortar de lut cu un conținut ridicat de nisip neprelucrat, care a fost lipit pe o sită de sârmă din metal sau plastic (folosită în mod normal pentru întărirea mortarului). Lutul a fost lipit pe acea sită într-un strat gros de 2 cm și, împreună, au fost rulate în jurul unui băț de bambus, pentru a crea elemente de umplutură (*9.9, 9.10* și *9.11*). În mod surprinzător, au apărut crăpături de contracție și în cazul acestei tehnici.
Imaginea *9.12* descrie tehnica tradițională germană de construire cu „sticle din lut". Aici, elementele verticale secundare sunt fixate la distanța de 15-20 cm unele de celelalte, în cadrul structurii. „Sticlele" sunt făcute dintr-o cantitate de 1,5 litri de

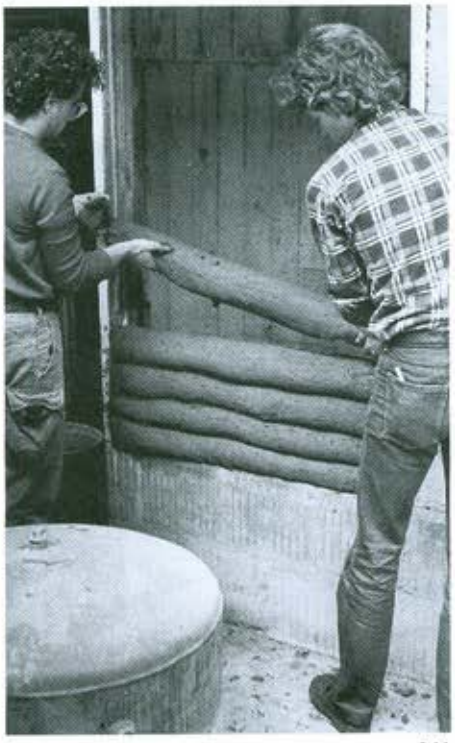


9.7

amestec, lăsată să cadă apoi, în mijlocul a doi snopi de paie, aşezaţi în formă de cruce. Capetele snopilor sunt apoi ridicate în apropierea lutului, care este modelat în formă de sticlă şi acoperit cu alt lut. Sticla este apoi ţinută orizontal, iar gâtul crestat în jurul elementului vertical, în timp ce partea inferioară este apăsată peste gâtul sticlei precedente.

9.9

9.10



9.11

9.7 Perete de lemn cu umplutură făcută din rulouri de lut cu paie (în germană: *wicket*) (după Houben, Guillaud, 1984)
9.8 Producerea de rulouri de lut cu paie (după Vorhauer, 1979)
9.9 – 9.11 Metodă modernă de producere a rulourilor de lut cu paie (BRL)
9.12 Metodă tradiţională de producere a sticlelor de lut cu paie

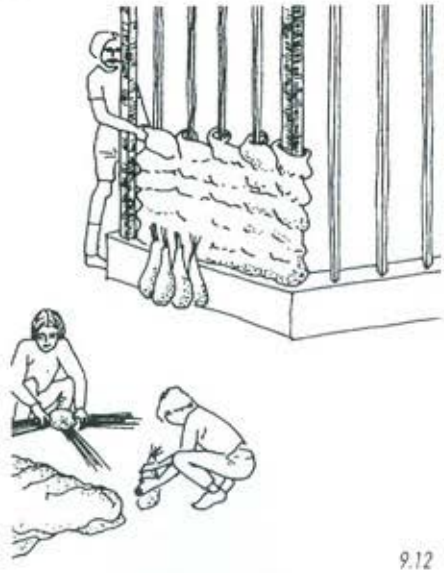
Umplutură din lut uşor

Pentru că nu reuşesc să furnizeze o izolaţie termică suficientă, tehnicile tradiţionale descrise în fragmentele anterioare nu pot fi folosite în construcţiile moderne, din zonele cu climă rece. Pentru a furniza o izolaţie termică bună, structurile schelet pot fi umplute cu amestecuri de lut uşor (sau exteriorul poate fi acoperit de straturi din materiale cu izolaţie termică, care se folosesc în mod obişnuit). Această tehnică prezintă avantajul unui efort de muncă mai mic şi a nici unei contracţii. Sistemele cu acţiuni de izolare termică mai puternice sunt prezentate în capitolul 14, p.108. Aditivii uşori sunt descrişi în capitolul 4, pp. 48-51.

9.8

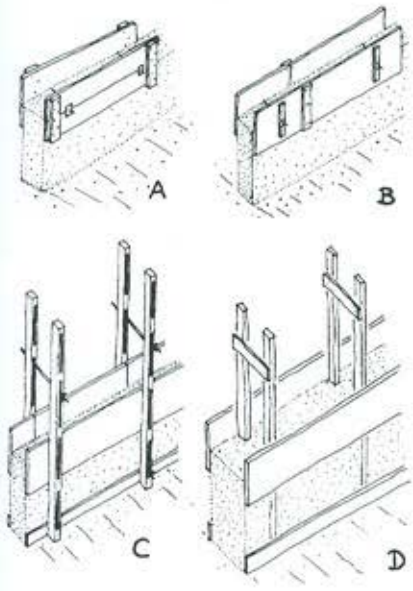
Umpluturi din *stranglehm* „funii" şi „cordoane" din pământ

Soluţiile moderne de umplere a deschiderilor, din cadrul structurilor scheletelor din lemn sau a caselor de paiantă, cu funii *stranglehm* sau umplute cu pământ, sunt descrise în capitolul 8, p.75 şi în capitolul 10, p.89.

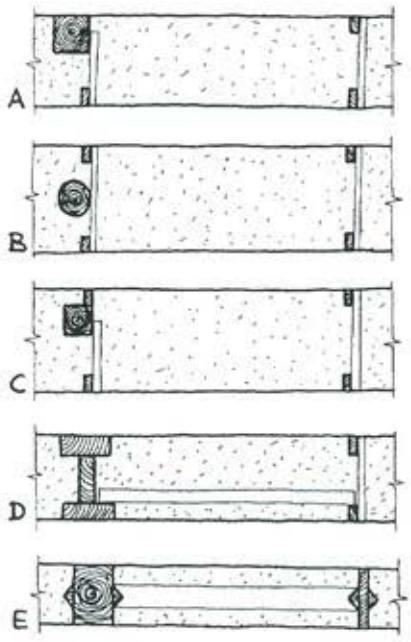


9.12

10 Lut ușor compactat, turnat sau pompat



10.2



10.1

10.1 Secțiuni orizontale cu diferite elemente de lemn încorporate
10.2 Sisteme de glisare ale cofrajelor

Acest capitol prezintă mai multe tehnici, care folosesc lutul ușor, obținut prin batere cu maiul, turnare sau pompare la pardoseli, pereți sau sisteme de acoperiș. Diferitele tipuri de lut ușor sunt examinate în capitolul 4, în timp ce în capitolul 9 se discută despre cum poate fi folosit lutul ușor, ca umplutură pentru structurile de paiantă și cele tip schelet. Construcția cu mortar
pulverizat este descrisă în capitolul 11. Modele speciale pentru pereți, care conferă o izolație ridicată, sunt discutate în capitolul 14, iar măsurile suplimentare pentru izolare termică, folosind lutul ușor, sunt accesibile în capitolul 13.

Cofraje

Pereții din lut ușor pot fi construiți utilizând orice tip de cofraj, dar pentru că necesită o forță de compresie mai mică, în comparație cu aceea a construcției de pământ bătut cu maiul, scândurile de cofraj pot fi mai subțiri. În imaginea *10.1* sunt arătate posibilități variate, în secțiune orizontală. Pentru a reduce numărul de scânduri, de multe ori se folosește cofrajul glisant. În imaginea *10.2* sunt ilustrate patru modele ale acestui sistem. Când se lucrează cu lutul mineral ușor, este posibilă chiar utilizarea doar a unui cofraj cu o singură latură. Acest lucru poate fi realizat cu o scândură la exterior, caz în care amestecul poate fi aruncat înspre aceasta, din interior, cu mâna sau cu o mistrie.

Pereți din lut ușor cu paie

Prepararea amestecului este descrisă în capitolul 4, p.46. Amestecul este aruncat în cofraj, în straturi cu înălțimi între 10-20 cm, ori cu mâna ori (mai des) cu o furcă și compactat cu maiurile manuale ușoare. Ar trebui menționat că amestecurile din lut ușor au tendința de sedimentare, astfel încât găurile care se formează trebuie să fie controlate și mai târziu, reumplute. Elementul de test de 1 m înălțime, arătat în *10.3*, a prezentat o sedimentare de 9%. Ar trebui, de asemenea, menționat faptul că, atunci când se lucrează cu amestecuri foarte ușoare (cu densități sub 600 kg/m^3) și cu pereți cu o grosime mai mare de 25 cm, paiele ar putea putrezi în interiorul zidului. Imaginea *10.4* arată un exemplu de perete

10.3

10.4

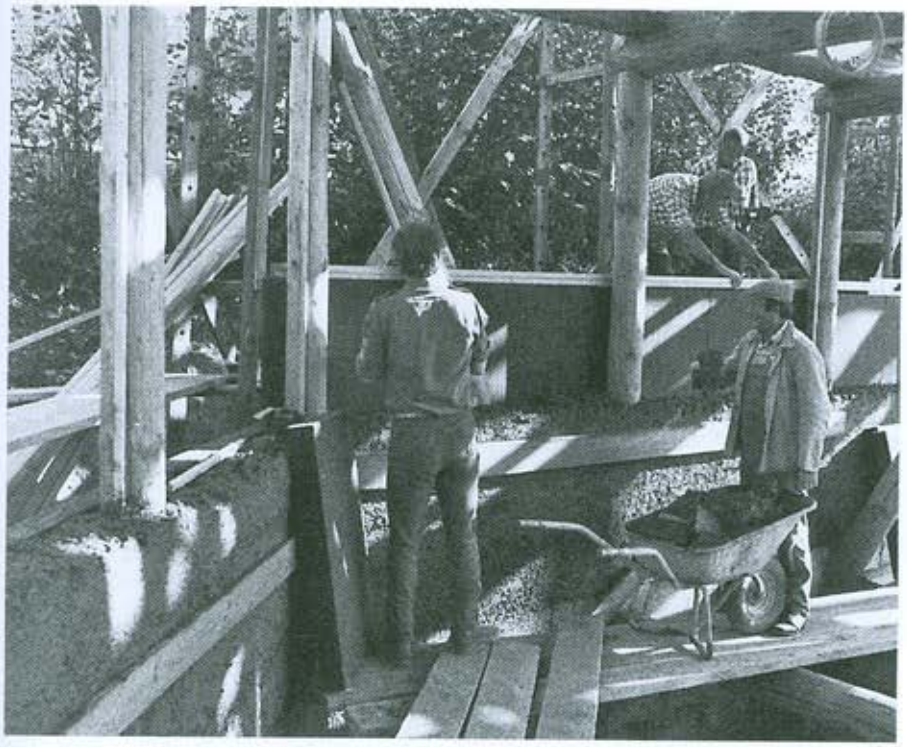
10.5

cu 30 cm grosime, construit din lut ușor cu paie, având o densitate de 350 kg/m^3. După câteva luni, când exteriorul părea să fie complet uscat, miezul a fost tăiat, pentru o instalație electrică și a fost găsit în stadiu de putrezire. Chiar și elementul structural de lemn fusese atacat de microorganisme, până la adâncimi de 2 cm (Schmitt, 1993). Și în cazul pereților ușori pot, de asemenea, să apară păduchii de lemn, care să mănânce paiele. De aceea, este întotdeauna recomandabil ca grămezile de paie să fie total izolate cu lut, ceea ce înseamnă că amestecul ar trebui să aibă o densitate de mai mult de 600 kg/m^3.

Pereți din lut ușor de lemn

Așchiile de lemn și rumegușul sunt des folosite ca agregate ușoare, în locul paielor. Acestea sunt mai ușor de amestecat cu lutul, dar au un grad mai mic de izolație termică, iar uscarea durează un timp foarte îndelungat. Imaginea *10.5* prezintă peretele de 50 cm grosime, al unei clădiri istorice restaurate, ale cărei elemente din lemn au fost complet distruse de ciuperci, pentru că perioada de uscare a lutului de lemn a fost mai lungă de un an.

10.7



10.6

Pereți din lut mineral ușor compactat, turnat sau pompat

Lutul mineral ușor poate fi bătut cu maiul, în cofraje, la fel ca lutul cu paie. Dar mai poate fi și turnat sau pompat, dacă are o consistență bună. De asemenea, absoarbe mai puțină apă (în consecință, se usucă mai repede), manifestă mai puține culturi de ciuperci, o putere de uscare mai mare, o rezistență mai ridicată la difuzia vaporilor și o soliditate mai bună a suprafeței, decât lutul cu paie și cel din lemn. În capitolul 4, p.49 sunt descrise diverse agregate minerale ușoare.

10.8

10.9

10.3 Așezarea lutului ușor de paie
10.4 Secțiune a peretelui din lut ușor de paie, cu interiorul putrezit
10.5 Perete din lut de lemn ușor, distrus de ciuperci
10.6 Baterea cu maiul a unui perete de pământ, alcătuit din lut și piatră ponce, Pujili, Ecuador
10.7 Modelarea unui pervaz de fereastră, folosind o lamă
10.8 Amestecând lutul mineral ușor
10.9 Turnând lutul mineral ușor

Pereți bătuți cu maiul

Imaginea *10.6* prezintă construcția unei clădiri în Pujili, Ecuador, folosind piatră ponce ca agregat ușor, amestecat în lut și bătut ușor cu maiul, într-un cofraj. Cofrajul a fost imediat demontat, după ce peretele a fost terminat. Peretele a manifestat un grad ridicat de soliditate, cu toate că era încă posibilă tăierea deschiderilor ferestrei și formarea pervazurilor, cu un satâr, așa cum se arată în *10.7*.

Pereți turnați

Cea mai ușoară cale de a face un perete din lut mineral ușor este de a turna pur și simplu lutul, într-un cofraj (*10.9*). În acest caz, amestecul era pregătit într-un mixer de putere, prezentat în *10.8*. Cu această tehnică, este chiar posibilă folosirea unei betoniere obișnuite, în care pasta de lut este turnată peste agregat, în timp ce este frământată (*10.11*). Aici, pasta era preparată cu un mixer de mână, acționat electric, prezentat în *10.10*. Cofrajul era pur și simplu lăsat deschis pe o latură, în partea superioară a peretelui, iar amestecul era aruncat înspre el și bătut cu o bucată netedă de lemn.

În casa de două etaje din Tata, Ungaria, a fost făcut un zid portant de 50 cm grosime, cu un amestec din lut și argilă expandată. Amestecul a fost turnat în cofraj, printr-o pâlnie, transportată de o macara, metodă folosită în mod obișnuit la construcțiile de beton (*10.12*).

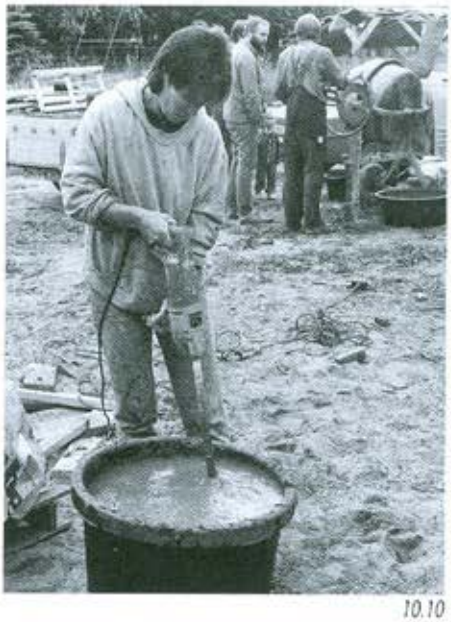
O tehnică simplă de reducere a cheltuielilor este aceea de a utiliza un cofraj fals, făcut din stuf, pe o parte a peretelui sau pe ambele părți (*10.13*).

Imaginile de la *10.14* la *10.16* arată cum ar putea fi folosit un cofraj textil fals, care a fost proiectat de autor. O bucată de material îi păstrează forma și acesta este strâns, cu cablurile fixate de cadrul de lemn. Se oferă astfel, o idee în legătură cu varietatea nelimitată de texturi, ce pot fi utilizate în mod creativ, pentru suprafețe.

Pereți obținuți prin pomparea lutului

Pentru proiecte mai ample, în special dacă există firme care să fabrice lutul mineral ușor, este recomandabil să se pompeze amestecul, în cofraj, prin folosirea mortarului sau a pompelor de ciment. Consistența trebuie să fie puțin mai subțire,

10.12



10.10

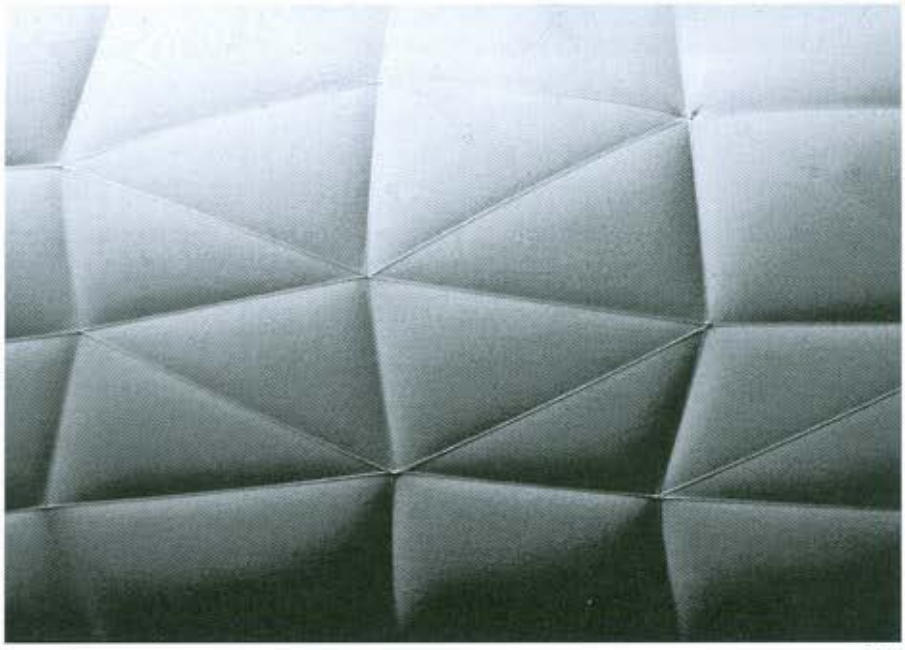
10.13

10.11

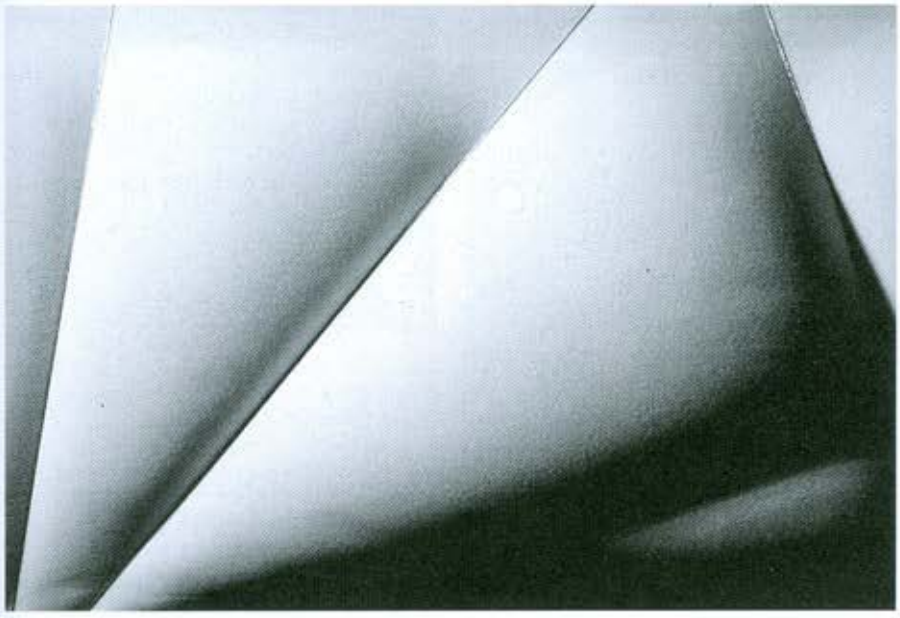
10.10 Pregătirea unei paste de lut, folosind un mixer de mână electric

10.11 Amestecarea lutului mineral ușor, utilizând o betonieră obișnuită

10.12 Transportarea și turnarea lutului mineral ușor

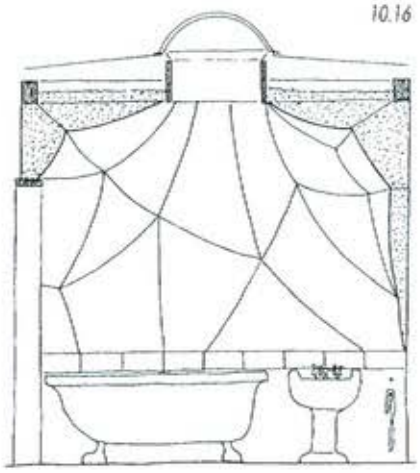


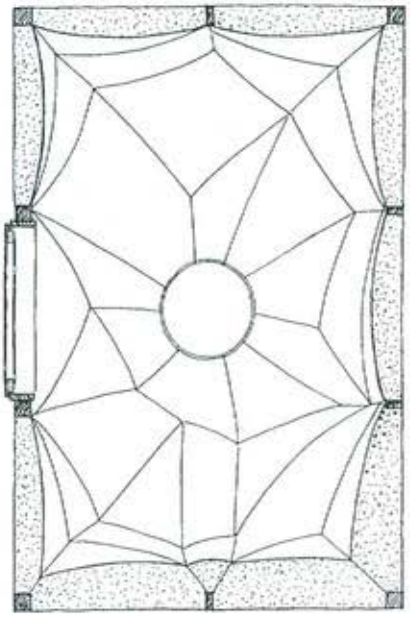
10.14



10.15

10.16

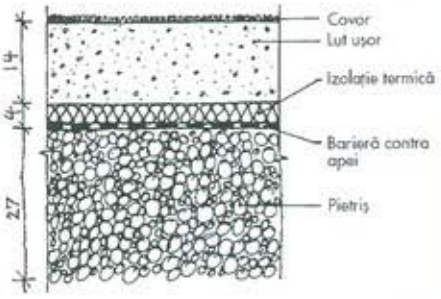




10.13 Turnarea lutului mineral, într-un cofraj fals
10.14-10.15 Modele de studiu pentru pereții interiori, folosind lutul mineral ușor și un cofraj fals din material, strâns cu cabluri de turnare.
10.16 Secțiune verticală și orizontală, care arată modelul de plafon pentru o sală de baie, cu un luminator central

decât aceea de turnare.
Poate fi pompat la o înălțime de două etaje, folosindu-se tuburi. Imaginea *10.17* arată exemplul unei case vechi de 300 de ani, cu schelet de lemn, restaurată în Germania, unde amestecul a fost pregătit cu o betonieră mobilă obișnuită, a fost turnat prin pâlnie, într-o pompă și apoi, vărsat, printr-o conductă, în cofraj.

10.17



10.20

Tratarea suprafeței

După scoaterea cofrajului, suprafața pereților bătuți cu maiul, turnați sau pompați, de lut mineral, cu densități de 600-900 kg/m^3, poate fi observată ca fiind foarte compactă, dar rugoasă (*10.18*). Această suprafață trebuie doar să fie tencuită, cu un singur strat subțire (spre deosebire de echivalentul pereților din lut cu paie, care necesită cel puțin două straturi).

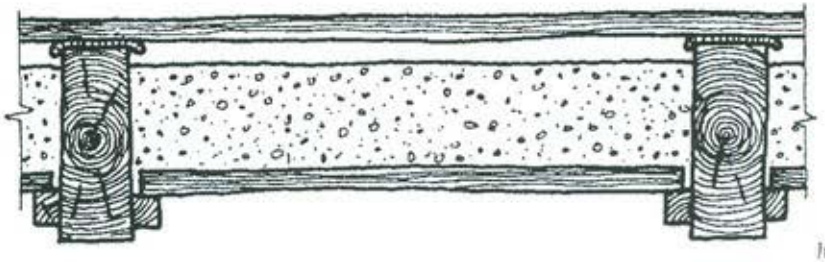
În *10.19*, putem vedea un zid din lut mineral ușor, cu o densitate de 1000 kg/m^3, care este răzuit cu o racletă, imediat după scoaterea cofrajelor. Acesta formează o suprafață plăcută, cu o textură dură, care trebuie doar văruită mai târziu, astfel încât să se păstreze aspectul.

10.18

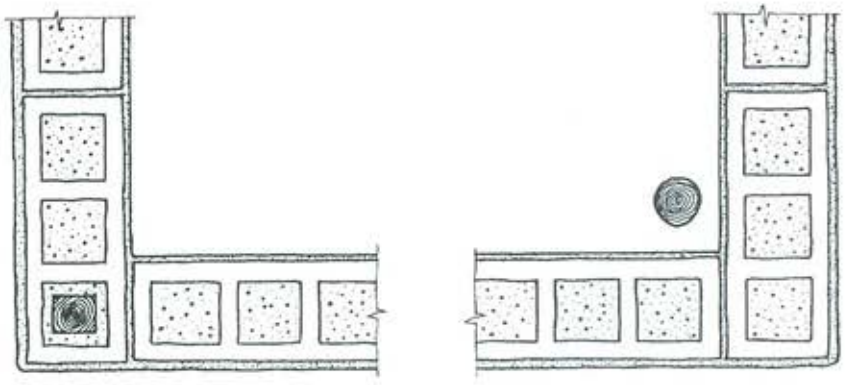
10.19

Pardoseli din lut mineral ușor, pompat

Lutul mineral ușor, pompat prin conducte, este potrivit, în mod special, pentru pardoseli și pentru umpluturi între elementele de planșeu. Imaginea *10.20* prezintă o secțiune verticală a unei pardoseli pe sol, cu izolație termică ridicată, care în zonele cu climă rece oferă o senzație de căldură și de confort, încă de la intrare. Imaginea *10.21* ilustrează posibilitatea de a folosi lutul mineral ușor, ca umplutură între grinzile planșeu. Dacă acest lut mineral are o densitate mai mare de 1.000 kg/m^3, are rol de barieră solidă, pentru zgomotul din aer și produce o bună acumulare a căldurii.



10.21



10.22

10.23

10.24

Blocuri cu goluri umplute cu lut

În țările industrializate, există multe tipuri disponibile de blocuri cu găuri, care sunt de obicei umplute cu beton. Acestea sunt făcute din materiale, precum piatră ponce, legată cu mortar de ciment, argilă expandată, aglomerat lemnos cimentat, nisipul legat cu var, teracotă sau polistirenul expandat. Dacă peretele nu este portant, lutul poate fi, de asemenea, folosit în locul umpluturii cu beton. Elementele portante pot fi integrate alături de acești pereți sau plasate în interiorul lor, așa cum se arată în *10.22*. Dacă este nevoie de izolare fonică puternică și de capacitate termică, lutul trebuie amestecat cu o cantitate mare de pietriș. Dacă este nevoie de o izolare termică foarte bună, se vor adăuga agregate ușoare. Dacă se cere o izolație ridicată față de zgomotele aeriene, dar și rezistență termică, în lut ar trebui să fie amestecată o proporție mare de pietriș.

10.25

10.17 Transportarea și pomparea lutului mineral ușor
10.18 Suprafața unui perete din lut ușor, făcută din lut argilos și argilă expandată (8-16mm), după scoaterea cofrajului
10.19 Răzuirea peretelui din lut mineral ușor, pentru a obține o suprafață texturată (fără folosirea tencuielii)
10.20 Secțiune verticală prin pardoseala făcută din lut mineral ușor
10.21 Lutul mineral ușor, folosit ca umplutură între elementele de lemn
10.22 Blocuri cu găuri umplute cu lut, care formează un colț, cu diferite poziții ale stâlpului de structură
10.23 Umplerea rulourilor cu lut mineral ușor, folosind o pompă
10.24 – 10.25 Umplerea manuală a rulourilor cu lut mineral ușor, folosind o pâlnie

Funii umplute cu lut

O nouă tehnică, dezvoltată de autorul acestei cărți, a fost folosită în 1992, pentru trei reședințe din Kassel, Germania. Deși aspectul exterior al pereților făcuți prin această tehnică este asemănător celor construiți prin tehnica de realizare a *stranglehm*, descrisă în capitolul 8, producția, mânuirea și așezarea sunt destul de diferite.

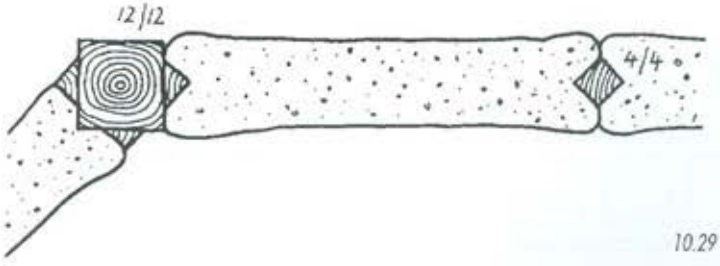
Prin această tehnică, un tub elastic făcut din bumbac este umplut cu un amestec din lut mineral ușor. Tubul poate fi umplut ori folosind o pompă (vezi *10.23*), ori de mână, printr-o pâlnie (vezi *10.24* și *10.25*). Atunci când lungimea cerută este obținută, ruloul este tăiat, iar capătul este întins și înnodat. Datorită întăriturilor țesăturii, aceste tuburi umplute cu lut, pot fi apoi ușor mânuite. Înainte de a fi așezate pe perete, ele sunt netezite cu mâinile, astfel încât o parte din lut să se scurgă și să formeze un înveliș subțire de lut, deasupra materialului. Atunci când sunt stivuite, aceste învelișuri din lut se lipesc între ele (*10.26* și *10.27*). Întrucât aceste tuburi pot fi ușor modelate fără să se rupă, pot fi realizate modele sculpturale frumoase (vezi *10.28* și *10.30*).

După așezare și puțină uscare, suprafața poate fi ușor netezită, cu o pensulă udă. În cazul peretelui prezentat în *10.31*, rulourile de 70 cm lungime sunt așezate între stâlpii verticali de 4 x 4 cm poziționați la 45°, sau între elementele triunghiulare, fixate de stâlpii principali de la capătul peretelui, prezentați într-o secțiune, în imaginea *10.29*. Ca regulă, trei până la cinci straturi pot fi stivuite pe zi, dar pentru a spori acest număr, poate fi adăugat și niște ciment, pentru a grăbi procesul de uscare. Capitolul 13, p.106 explică în ce fel pot fi folosite aceste tuburi, pentru a crește izolația termică a pereților.

10.26

10.27

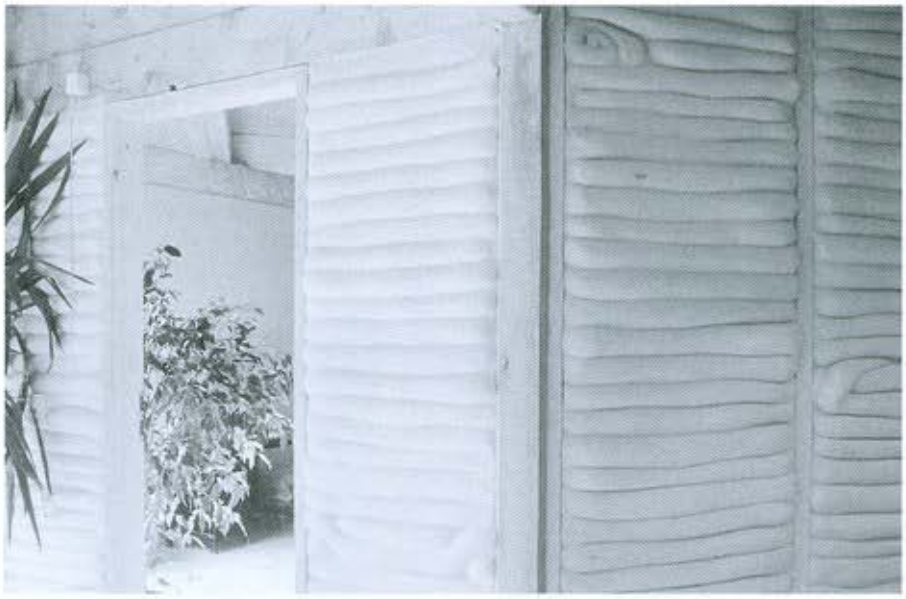
10.28



10.29

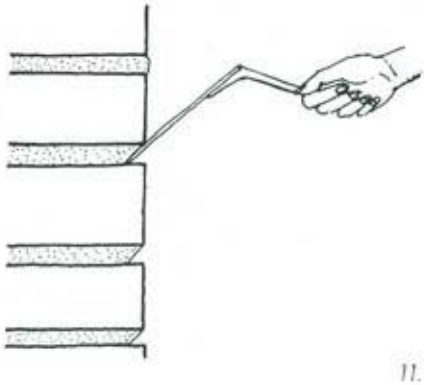
10.30

10.26 – 10.28
Realizarea unui perete pentru baie, din rulouri de bumbac, umplute cu lut mineral ușor
10.29 Secțiune orizontală a unui perete din rulouri umplute cu lut
10.30 Perete al unei grădini de iarnă, făcut din rulouri umplute cu lut, care servesc la acumularea căldurii și la stabilizarea umidității
10.31 Perete interior, făcut din rulouri umplute cu lut



10.31

11 Tencuiala din lut



11.1

11.2

11.3

Tencuielile de lut sunt alcătuite în principal din nisip și nămol, având doar cantitatea de argilă necesară (de obicei între 5% și 12%) pentru sporirea puterii lor de lipire și întărire. Este dificil de precizat care sunt proporțiile unei tencuieli ideale din lut, pentru că nu doar proporțiile de argilă, nămol și nisip influențează proprietățile amestecului. Alți factori care influențează compoziția sunt: distribuirea granulației, a particulelor de nisip în sine, conținutul de apă, tipul de argilă, metodă de pregătire și aditivii. Pentru a testa calitățile tencuielilor din lut, ar trebui analizate eșantioane cu compoziții diferite. Dacă suprafața este destul de aspră, atunci tencuielile din lut aderă bine, nu doar pe suprafețele din lut, ci și pe cele făcute din cărămizi, beton și piatră. Pentru capacitatea tencuielilor din lut de a stabiliza umiditatea aerului din interior, vezi capitolul 1.

Pregătirea suprafeței

Deoarece tencuiala din lut nu reacționează cu suportul din punct de vedere chimic, suprafața trebuie să fie suficient de aspră, pentru a se realiza o aderență fizică potrivită. Dacă zidăria urmează să fie tencuită, mai ales atunci când se folosesc cărămizi mai mari și foarte netede, se recomandă să se croiască un șanț de 45° în interiorul rosturilor, cu o mistrie, așa cum se arată în *11.1*. O altă metodă de a obține o aderență bună, atunci când pereții din lut bătuți cu maiul urmează să fie tencuiți, este de a-i uda suficient, până când suprafețele devin moi, iar apoi, pe aceștia se răzuie niște șanțuri pe diagonală, cu o greblă mică sau cu o mistrie cu cuie (*11.2* și *11.3*). Pentru a garanta că tencuiala aderă bine, pot fi aplicate suporturi de tencuială sub formă de plasă metalică galvanizată, plasă din plastic, împletituri din stuf etc.

Compoziția tencuielii de lut

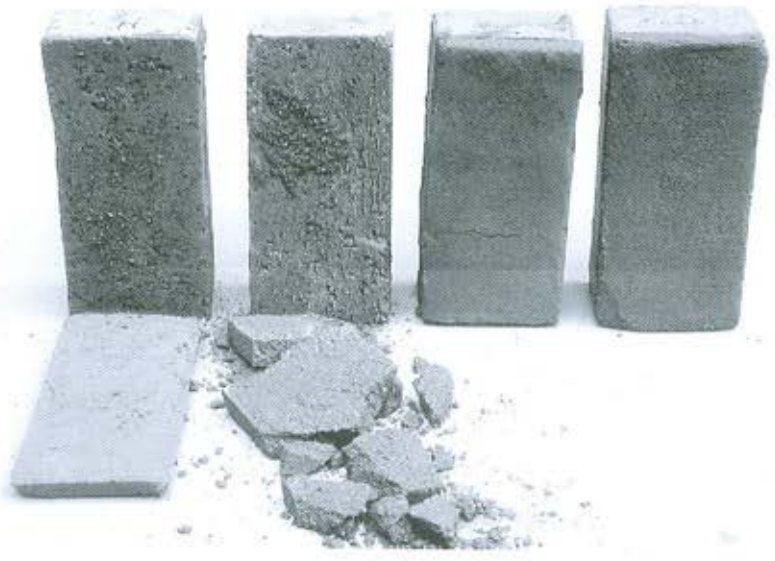
Pentru a feri tencuiala din lut de crăpăturile de contracție, trebuie reținute următoarele repere:
- lutul trebuie să conțină destul nisip neprelucrat.
- ar trebui adăugate păr de animal sau de om, fibre de cocos sau de sisal, paie tăiate

sau fân (în orice caz, o cantitate prea mare din acești aditivi reduce capacitatea tencuielii de a adera la stratul suport).
- pentru tencuiala de interior, se pot, de asemenea, folosi ca aditivi: rumegușul, fibrele de celuloză, pleava din cereale sau alte particule de acest gen.
- pentru a obține o putere de întărire suficientă, forța adezivă a mineralelor din argilă ar trebui să fie destul de bine activată, printr-o cantitate corespunzătoare de apă și prin mișcare.
- atunci când tencuiala se lipește de o mistrie ajustabilă de metal ținută vertical, și totuși se îndepărtează ușor, înseamnă că s-a obținut consistența corectă.

11.1 Croirea rosturilor cu ajutorul unei mistrii
11.2 Răzuirea unei suprafețe umezite, din lut, cu o greblă mică
11.3 Unelte pentru răzuirea suprafețelor umezite, din lut
11.4 Test cu mortar din lut

Pentru a testa caracteristicile unei tencuieli din lut, se poate efectua un simplu test de lipire. Pe suprafața netedă a unei cărămizi arse, verticale, se aplică 2 cm din tencuiala care se testează. Tencuiala ar trebui să se lipească de cărămidă până când se usucă în totalitate, lucru care ar putea dura două, până la patru zile.
Dacă tencuiala se desprinde într-o singură bucată, de la sine, așa cum se vede în eșantionul din stânga, din *11.4*, atunci înseamnă că este prea argiloasă și ar trebui să fie subțiată cu nisip neprelucrat. Dacă se desprinde în fragmente, după ce eșantionul este lovit cu ciocanul pe podea, al doilea eșantion din *11.4*, atunci înseamnă că tencuiala are o putere de întărire insuficientă și ar trebui să fie îmbogățită cu argilă. Dacă tencuiala se lipește de cărămidă, dar prezintă crăpături de contracție, precum al treilea eșantion din *11.4*, înseamnă că este prea argiloasă și ar trebui să fie ușor subțiată cu nisip neprelucrat. În orice caz, poate fi folosită fără să fie subțiată, ca prim strat al unei tencuieli din două straturi. Dacă suprafața nu prezintă nici un fel de crăpături, iar tencuiala nu se desprinde atunci când este lovită cu ciocanul, ca în cazul eșantionului 4, văzut în *11.4* (dreapta), atunci eșantionul ar putea fi considerat corespunzător. În acest caz, este recomandabil să se facă un test mai cuprinzător, de 1 m lățime și 2 m înălțime, pe peretele real. Dacă acum apar crăpături de contracție, atunci înseamnă că amestecul trebuie să fie ori subțiat cu nisip neprelucrat, ori combinat cu fibre.

11.4



Tencuieli din lut expuse la exterior

Tencuielile expuse la exterior trebuie ori să fie rezistente la intemperiile vremii, ori altminteri, trebuie să li se asigure o protecție rezistentă la intemperii. În zonele cu climă rece, este important ca tencuielile, împreună cu protecția lor, să aibă o rezistență scăzută la difuzia vaporilor, astfel încât apa condensată din perete să poată fi ușor transportată către exterior. Pentru a face față influențelor termice și hidrice, fără a se produce crăpături, tencuiala exterioară trebuie să fie mai elastică decât stratul suport. În general, pentru zonele cu climă rece, nu este recomandată o tencuială exterioară din lut, decât dacă poate fi asigurată o streașină suficientă a acoperișului, o protecție a soclului și un înveliș bun al suprafeței. Pentru că muchiile tencuite ale peretelui sunt foarte ușor de stricat, ar trebui ori să fie rotunjite, fie protejate cu ajutorul unui element rigid. În zonele cu climă extremă, atunci când elasticitatea tencuielii întinse pe suprafețe netede este insuficientă pentru a face față efectelor vremii, sunt recomandate șanțuri verticale și orizontale, umplute cu substanțe de etanșare elastice. Capitolul 4 ia în discuție posibilitățile generale de reducere a contracției și de sporire a rezistenței la intemperiile vremii și a solidității suprafeței.

Tencuieli interioare din lut

Tencuielile interioare sunt mai puțin problematice. Ca regulă, crăpăturile de contracție fine nu cauzează nici un fel de probleme, pentru că acestea pot fi acoperite cu straturi de vopsea. Suprafețele uscate

cu tencuială din lut pot fi ușor netezite, prin umezire și apoi, lucrate cu o pensulă sau cu o mistrie din pâslă.
Dacă suprafața pereților necesită o tencuială mai groasă de 15 mm, aceasta ar trebui să fie aplicată în două straturi, cu stratul de bază conținând mai multă argilă și agregate neprelucrate decât cel de-al doilea. Dacă stratul de bază capătă crăpături de contracție, acest lucru nu constituie o problemă și ar putea fi chiar avantajos, asigurând o aderență mai bună ultimului strat al tencuielii. Adăugarea făinii de secară îmbunătățește prelucrarea tencuielii și mărește rezistența suprafeței la abraziunea uscată și umedă. Prin analiză, autorul acestei cărți a dovedit că o astfel de rezistență poate fi, de asemenea, creată prin adăugarea cleiului de cazeină făcut dintr-o parte de var hidraulic și 4-6 părți de brânză albă, fără grăsimi, borax, uree, gluconat de sodiu și ziare mărunțite (care furnizează fibre de celuloză și clei). Au funcționat bine următoarele amestecuri: Varul reacționează cu cazeină în interiorul brânzei fără grăsimi, pentru a forma un agent chimic, rezistent la apă. O reacție asemănătoare se obține cu var și borax (ultimul fiind conținut în ziarele mărunțite). Gluconatul de sodiu acționează ca un plastifiant, așa că la preparare, e nevoie să se amestece mai puțină apă (reducându-se astfel contracția). Ureea crește rezistența la compresie și rezistența la tensiunea prin încovoiere, mai ales în cazul solurilor nămoloase (vezi capitolul 4, p.43).

Componente	Amestec[1]				
	A	B	C	D	E
Pastă de lut[2]	10	10	10	10	10
Nisip (0-2)	25	25	25	25	25
Ziare mărunțite[3]		5	5		5
Clei de cazeină[4]	1				1
Brânză fără grăsimi				1	
Uree			0.2		
Gluconat de sodiu		0.2			

[1] toate proporțiile sunt stabilite în termeni volumetrici
[2] făcut dintr-o parte de pământ argilo-nisipos și 2 părți de nisip
[3] tratat cu conținut de borax
[4] făcut din 4 părți de brânză fără grăsimi și o parte de var hidraulic, amestecat intens timp de 2 minute

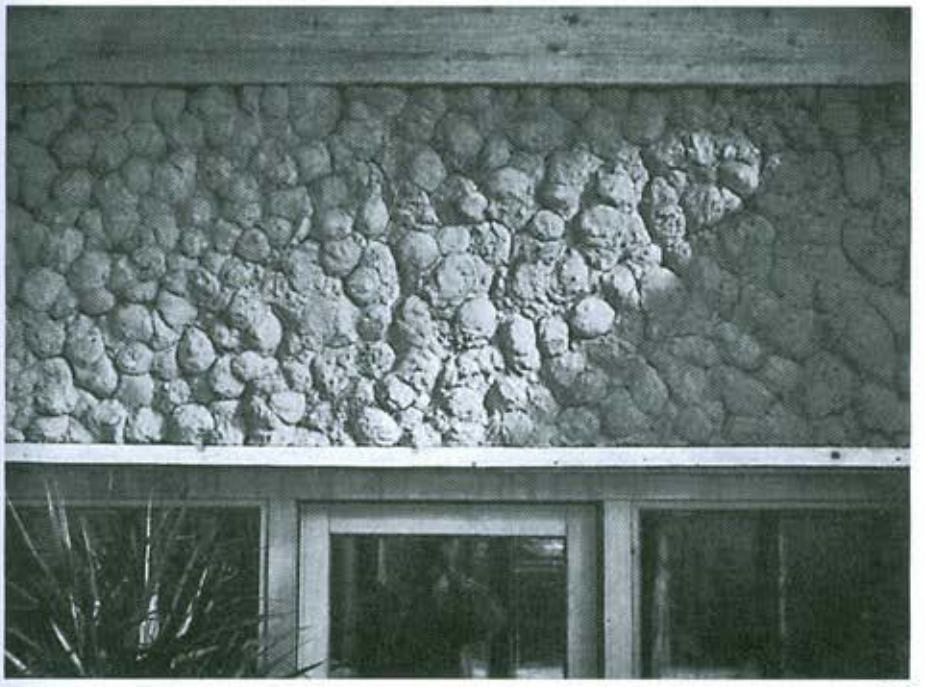
Maculatura mărunțită conferă o prelucrare mai bună și reduce contracția. Amestecurile B, C și E reprezintă cea mai bună prelucrare. La folosirea amestecurilor A și E, este cel mai bine să se înceapă prin combinarea cleiului de cazeină și a ziarelor mărunțite cu apa, adăugând lutul și nisipul, după o oră. În cazul tuturor amestecurilor s-a descoperit că atunci când se execută ultima netezire, folosind o mistrie din pâslă, era cel mai bine să se aștepte mai multe ore sau chiar o zi întreagă.

Ghid de tencuire a pereților din pământ

Întrucât tencuiala din lut pur nu reacționează din punct de vedere chimic cu stratul suport, s-ar putea să fie necesar ca acesta să fie tratat, pentru producerea unei aderențe suficiente. Pentru a realiza acest lucru, ar trebui reținute următoarele îndrumări:
1.Suprafața suport de tencuit trebuie să fie destul de uscată, pentru a nu avea loc o contracție suplimentară.
2.Tot materialul care se dislocă ar trebui să fie înlăturat de pe suprafață.
3. Stratul suport trebuie să fie suficient de rugos și, dacă este necesar, umezit și zgâriat, sau rosturile trebuie să fie teșite, așa cum este descris mai sus în acest capitol.
4. Înainte de tencuire, stratul suport trebuie să fie umezit suficient, pentru ca suprafața să se înmoaie și să se umfle, iar tencuiala să pătrundă în stratul cel moale.
5. Tencuiala trebuie să fie aruncată cu multă forță (plesnită), astfel încât să pătrundă în straturile exterioare ale solului și să capete o putere de întărire mai mare, datorită impactului.
6. Dacă tencuiala trebuie să fie mai groasă de 10-15 mm, ar trebui să fie aplicată în două sau chiar trei straturi, pentru a evita crăpăturile de contracție.
7. Pentru a reduce crăpăturile de contracție în timpul uscării, mortarul ar trebui să conțină cantități suficiente de nisip neprelucrat, precum și fibre sau păr.
8. Pentru a îmbunătăți duritatea suprafeței, ar trebui să se adauge la stratul superior: baiegă de vacă, var, cazeină sau alți aditivi (vezi capitolul 4, p.40 și p.47).
9. Pentru a asigura duritatea suprafeței,

11.5

11.6



11.8

11.7

11.5 Pulverizarea tencuielii din lut ușor
11.6 Tencuială din lut ușor, cu argilă expandată (1-4 mm)
11.7 – 11.8 Tencuială aruncată, într-o grădină de iarnă

dar și rezistența la abraziunea umedă, suprafața ar trebui finisată cu un strat de vopsea.
10. Atunci când se folosesc tencuielile, ar trebui reținute schimbările proprietăților fizice ale materialelor cauzate de aditivi și de învelișuri, acordând o atenție specială rezistenței la difuzia vaporilor.

Tencuială stropită

În 1984, autorul acestei cărți a obținut cu succes o tencuială din lut ușor, pulverizabil, cu izolație termică ridicată, conținând ziare mărunțite. Tencuiala poate fi aplicată chiar și într-un singur strat, gros de până la 30 mm, folosind o pompă obișnuită de mortar (*11.5*). Pentru a scurta perioada de întărire, varul hidraulic superior și ipsosul au fost adăugați la amestec. Alte tencuieli pulverizabile, ușoare, folosite pentru umplerea structurilor tip de paiantă și schelet, sunt descrise în capitolul 9, p.81.

Tencuială din lut mineral ușor

Imaginea *11.6* prezintă suprafața unei tencuieli din lut, cu grosimea de 8 mm, care cuprinde agregate din argilă expandată, cu diametre de 1-4 mm. Pentru a reduce timpul de întărire și pentru a crește rezistența la răspândirea vaporilor, tencuiala a fost stabilizată cu 5% var hidraulic, superior. Nu este ușor de netezit suprafața cu o mistrie, deoarece agregatul tinde să iasă afară în timpul operațiunii. Pentru evitarea acestui lucru, la amestec se pot adăuga: hârtie mărunțită, fibre de celuloză sau clei de cazeină.

Tencuială aruncată

Imaginile *11.7* și *11.8* arată cum a fost adaptată o tehnică tradițională africană, constând din aruncarea unor sfere de lut într-un perete. Aici, această tehnică este folosită pe o placă de aglomerat lemnos, pentru peretele unei grădini de iarnă și este descrisă în capitolul 14, p.129. Pentru a crește aderența, în placă au fost bătute cu ciocanul, până la jumătate, niște dibluri de bambus.

Tencuială la pereți din baloți de paie

Casele din baloți de paie, cunoscute de la sfârșitul secolului 19, când primul exemplu a fost construit în Nebraska, SUA, au fost redescoperite în anii '80. Între timp, au fost construite multe case noi, cu pereți din baloturi de paie, în Australia, Franța, Scandinavia și în alte țări europene. Multe ziduri istorice de acest gen erau portante. În zilele noastre sunt folosite mai ales structurile de schelet din lemn, care sunt umplute sau înconjurate de baloturi de paie. Cea mai simplă metodă de acoperire a unor astfel de ziduri este aceea de a folosi tencuială din lut. Pentru a crea o aderență bună, dar și rigiditate, o plasă pentru păsări sau o rețea din plastic trebuie prinsă de baloturi, înainte de tencuire. Acest lucru poate fi făcut manual sau prin pulverizare cu pistoale de vopsit. Imaginea *11.10* prezintă tencuirea unei suprafețe din

11.9

11.9 Perete sculptural din pământ

paie, cu un pistol de vopsit, *11.11* arată structura în ansamblu și *11.12* – suprafața interioară a unei cupole din baloți de paie, cu corpuri de iluminat integrate în perete. Pentru informații suplimentare despre astfel de structuri, vezi Minke și Mahlke, 2004.

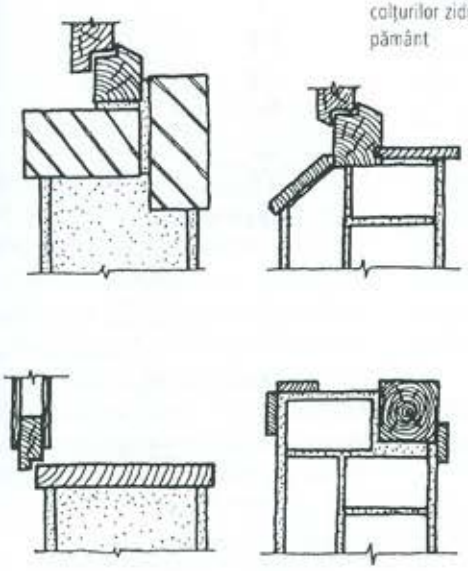
Tencuială umedă

Deoarece tencuiala din lut își păstrează starea maleabilă pentru mult timp și nu este corozivă pentru mâini, precum varul sau tencuielile din ciment, ea constituie un material ideal pentru modelarea manuală. Imaginea *11.9* arată un exemplu de perete exterior, din lut, stabilizat printr-o finisare cu var și cazeină.

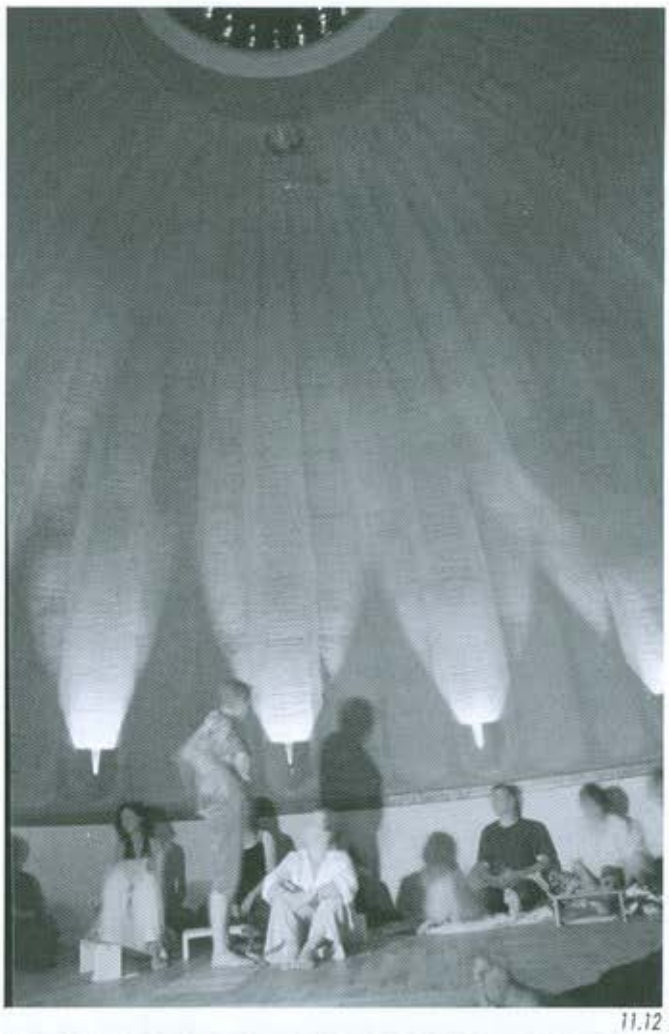
Protejarea colțurilor

Pentru că tencuială din lut este sensibilă la impactul mecanic, colțurile ar fi de preferat să fie acoperite cu profile din lemn, cărămizi arse sau căptușeli asemănătoare (*11.13*).

11.10 Pulverizarea peretelui din baloturi de paie, cu tencuială din pământ
11.11 Suprafața netezită, după pulverizare
11.12 Cupolă tencuită din baloți de paie, având corpuri de iluminat integrate, Forstmehren, Germania
11.13 Protecție a colțurilor zidului din pământ



11.13



11.12

11.10

11.11

12 Protejarea suprafețelor de lut în vederea rezistenței la intemperii

Suprafețele din lut nu au nevoie întotdeauna să conțină aditivi, pentru a deveni rezistente la apă. De multe ori este suficient să fie protejate sau întărite cu tencuială sau vopsea. Acest capitol descrie diferitele moduri în care suprafețele din lut pot fi făcute mai rezistente la forțele mediului ambiant și măsurile structurale necesare, pentru adăpostirea lor în fața acestor forțe.

Consolidarea suprafeței

Cea mai simplă metodă de întărire a suprafeței, mai ales împotriva eroziunii ploii și a vântului, este consolidarea. Acest lucru poate fi făcut frecând o mistrie de metal, pe suprafața respectivă, printr-o apăsare puternică, atunci când suprafața este umedă și puțin flexibilă. Metodele tradiționale indiene și africane întrebuințează pietre netede, dar ușoare și convexe, care sunt frecate de la o margine la alta a suprafeței, cu multă putere, printr-o mișcare circulară. Prelucrarea este corespunzătoare, dacă suprafața apare strălucitoare și nu se văd nici un fel de pori sau crăpături. Această metodă păstrează compoziția materialului nemodificată, producând, în același timp, o rezistență surprinzător de ridicată la intemperiile vremii.

Vopsele

Vopselele de pe suprafețele de lut expuse trebuie să fie recondiționate periodic. Vopseaua poate fi erodată fizic de vânt, îngheț sau ploaie sau poate fi erodată chimic, de radiațiile ultraviolete sau de ploile acide. Vopselele exterioare ar trebui să fie impermeabilizate, în același timp, și în special în cazul zonelor cu climă rece, vopselele poroase ar trebui să conțină o rețea coerentă de micro-pori, care să permită răspândirea vaporilor în exterior. Din acest motiv, latexul și vopselele de dispersie nu sunt recomandate.
Pentru informații care să le suplimenteze pe cele conținute în acest capitol, vezi Wehle (1985).

Prepararea stratului suport

Dacă stratul suport este foarte nămolos și sunt folosite vopselele pe bază de var, suprafața ar trebui să fie amorsată cu lapte subțire de var și cazeină și apoi frecată. Amorsa poate fi făcută din 2 părți de var hidraulic, 1 parte de brânză albă, fără grăsimi și 15 părți de apă.

Amestecuri de vopsea recomandate

Laptele de var pur

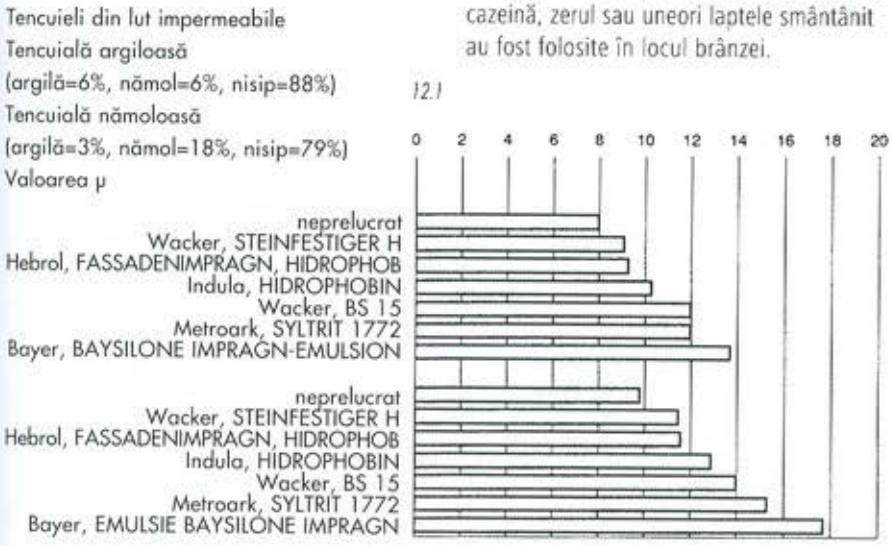
Amestecul de lapte de var trebuie să fie foarte subțire, permițând vopselei să pătrundă destul de adânc în stratul suport, astfel încât să nu intervină exfolierea în timpul uscării. Prin urmare, sunt recomandate trei sau chiar patru straturi subțiri, primul strat fiind cel mai subțire. Amestecul poate fi făcut din 50 kg de var hidraulic, dizolvat în 60 litri de apă. De multe ori, este de preferat să se adauge 1-2 kg de sare de bucătărie; fiind higroscopică, sarea permite amestecului să rămână mai mult timp umed, prin aceasta asigurându-se o

mai bună întărire a varului. Laptele de var pur este complet alb când este uscat, dar poate fi colorat prin adăugarea argilei, a prafurilor de lut sau a altor pigmenți din pământ, rezistenți la var. Laptele de var pur nu este rezistent la curățare.

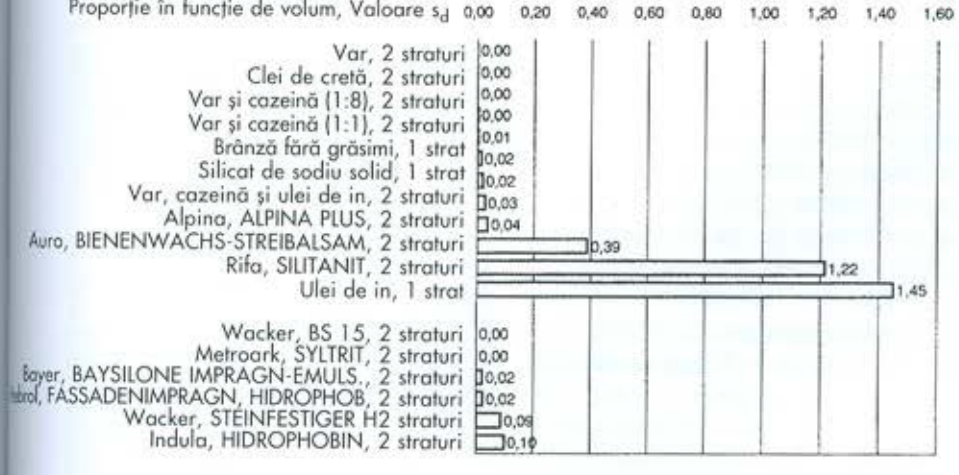
Laptele de var și cazeina

Tipurile de lapte de var sunt mult mai rezistente la curățare și durabile Dacă se adăugă zer, brânză albă fără grăsimi (*quark*) sau praf de cazeină. Brânza *quark* este obținută prin adăugarea chiagului de la vacile tinere, pentru a smântâni laptele. Această brânză conține 11% cazeină. Varul și cazeina formează un agent chimic rezistent la apă numit albuminat de var. Astăzi, folosirea brânzei este cea mai bună soluție pentru tipurile de lapte de var și cazeină. În cazul tipurilor tradiționale de lapte de var și cazeină, zerul sau uneori laptele smântânit au fost folosite în locul brânzei.

12.1 Valorile μ ale tencuielilor din lut impermeabile și valorile s_d ale învelișurilor



12.1



Amestecurile conținând o parte brânză fără grăsimi, 1-3 părți de var hidraulic și 1,5-2,5 părți de apă s-au dovedit a fi eficiente. Cantitățile mici de ulei de in dublu fiert rafinat (nu mai mult de 4% din cantitatea de brânză) cresc rezistența la curățare, dar reduc prelucrabilitatea laptelui. Pentru obținerea unei emulsii uniforme, aceasta trebuie să fie bine amestecată și agitată din când în când (uneori, la fiecare cinci minute). O vopsea chiar mai puternică și mai rezistentă la curățare este obținută prin amestecarea unei părți de var hidraulic cu 5 părți de brânză fără grăsimi și 5 părți de lut.

În sălile de baie și bucătării, acolo unde este necesară o mai mare rezistență la curățarea uscată și umedă, se recomandă următoarea procedură: o parte de var hidraulic și 5 părți de brânză fără grăsimi sunt amestecate fără apă timp de aproape două minute, folosind un mixer electric. Acest amestec este lăsat să stea o perioadă, iar apoi se adăugă: 20 de părți de var hidraulic, 2%-4% ulei de in dublu fiert și apă. Din două straturi ale acestui lapte rezultă o suprafață rezistentă la curățarea uscată și umedă. Pigmenții de pământ pot fi înlocuiți cu câteva părți de var.

Laptele de borax și cazeina

Boraxul poate fi folosit în locul varului hidraulic. Acesta reacționează chimic cu cazeina într-un mod similar varului. Cu un conținut ridicat de borax se formează cristalele, care pot fi văzute în lapte. Spre deosebire de var, boraxul nu produce o culoare albă și, drept urmare, este preferat pentru culorile închise. Praful de cretă este adăugat pentru a face vopseaua mai groasă și mai deschisă la culoare.

Adăugarea unei cantități mici de praf de argilă facilitează prelucrarea.

Dacă praful de cazeină este folosit în locul brânzei fără grăsimi, acesta ar trebui lăsat să se umfle sub apă timp de trei ore (320 g de praf de cazeină, într-un litru de apă). După aceea, 65 g de borax, dizolvate într-un litru de apă fierbinte, sunt amestecate în nămolul de cazeină, iar întregul este subțiat cu 12 litri de apă.

Vopsea incoloră de cazeină

Pentru a păstra culoarea naturală a suprafeței de lut, în timpul îmbunătățirii rezistenței sale la curățare, poate fi folosită

o zugraveală din următorul amestec: o parte brânză fără grăsimi cu 1,8-2 părți de apă și 1/8-1/9 părți de praf de var hidraulic. Acest înveliș va crea o suprafață incoloră, ușor lăptoasă, cu o strălucire mătăsoasă și moderată datorită structurii ei fine de cristal.

Vopsea din var și seu

Următoarea rețetă din Nepal creează un înveliș exterior, gros, păstos și rezistent la intemperiile vremii: 15 kg de var nestins, pudrat, împreună cu 6 kg de grăsime (seu topit) sunt turnate în 36 litri de apă.

Acest amestec este agitat cu grijă (e nevoie de grijă pentru că varul reacționează într-un mod foarte intens cu apa și ar putea să se verse și să ardă pielea). După adăugarea a 6 kg de sare de bucătarie și agitarea cu grijă, acest amestec ar trebui lăsat să stea timp de 24 de ore într-un mediu nu foarte rece. Stratul de apă care se formează deasupra amestecului este decantat. Amestecul păstos care rămâne este apoi combinat cu 3 kg de nisip fin, de cuarț, și aplicat cu o pensulă în straturi cu grosime de 3-5 mm, pe perete (Manandhar, 1983). Acest înveliș necesită mai multe săptămâni pentru a se întări. Se spune că în Nepal durează patru până la șase ani. O rețetă similară a fost folosită cu succes în Australia (Departamentul pentru locuințe, 1981). Testele făcute cu acest amestec în cadrul Laboratorului de Cercetare în Construcții (LCC) au arătat că aderă bine la o tencuială aspră și săracă în compoziție. Dar de pe o suprafață de pământ bătut cu maiul, făcută din lut argilos, anumite părți din înveliș s-au desprins după o perioadă de câteva luni, din cauza ploii și a înghețului, probabil pentru că aderența dintre înveliș și sol era insuficientă.

Alte tipuri de lapte de var stabilizat

Mai multe surse de informații vechi susțin că în afară de amestecarea varului hidraulic în zer, acesta ar putea să fie, de asemenea, amestecat în urină. Weiss (1963) a descoperit că folosind argilă Kaolinite, puterea poate fi crescută prin adăugarea ureei și a acetatului de amoniu. Această practică a fost obișnuită și în China antică, acolo unde era produs porțelanul extrem de subțire, prin adăugarea urinei stricate, în amestec.

Potrivit lui Jail et al. (1978), adăugarea a 70 g de clei animal, dizolvat în 0,5 litri de apă fiartă și amestecat cu 1 kg de var hidraulic, s-a dovedit a fi o idee bună.
În Auroville, India, următoarea vopsea a fost folosită cu succes pentru cupolele din cărămizi de noroi: albușurile a 60 de ouă, amestecate cu 2 litri de lapte bătut și 5 litri de lichior de palmier, agitate și combinate cu 40 litri de calcar cochilifer și 4 litri de ciment (Pingel, 1993).
Potrivit mai multor surse, următoarea substanță din plante adăugată la var crește de asemenea rezistența la curățare și la intemperiile vremii:
- clei din făină de secară (15 litri de făină de secară, fierți în 220 litri de apă, cu adăugarea unei cantități de sulfat de zinc),
- suc de agavă,
- suc de frunze fierte de banană,
- suc de cactus *opuntia*,
- suc de *euphorbia lactea*,
- ulei de capoc,
- ulei de in neprelucrat și dublu fiert.

Vopseaua din clei de celuloză

Întrucât este foarte ieftin, cleiul de celuloză amestecat cu praf de cretă este des folosit pentru vopsirea interioarelor. În orice caz, acesta asigură o rezistență scăzută la intemperiile vremii. Și rezistența sa la curățare este foarte scăzută.

Învelișul de bitum

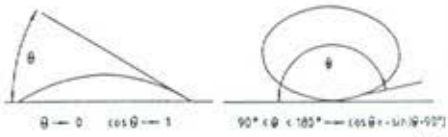
Emulsiile bituminoase oferă o protecție bună împotriva vremii, pentru pereții exteriori. Următoarea rețetă a fost testată cu succes în cadrul Laboratorului Central de Cercetare în Construcții (LCCC), Roorkee, India: o parte de bitum, din care 80/100 sunt încălzite într-un vas, cu 2 părți de petrol. Acest amestec este apoi aplicat cu o pensulă, pe o suprafață uscată din lut. După ce învelișul s-a uscat, este aplicat un al doilea strat. Pentru a proteja suprafața neagră astfel formată de la soare, se recomandă un ultim înveliș de var, care este făcut din 70 g de clei animal, amestecat într-un kg de var hidraulic, dizolvat în 0,5 litri de apă (Jain et al., 1978).

Difuzia vaporilor

Vopselurile pot reduce în mod semnificativ difuzia vaporilor prin pereți. Ar trebui reținut faptul că în zonele cu climă rece, efectul barierei antivapori al acestor

Vopsea	g/m²	kg/m²h^{0,5}	
Fără prelucrare	0	9,5	
Ulei de in	400	0,0	
Var și cazeină 1/1	420/350	0,6/1,5	0,6 orel 6-24 ore
Var și cazeină 1/8	300/300	0,7	
Vopsea Silin (van Baerle)	700/250/310	0,3	
Hydrophob (Herbol)	390/390	0,0	
Baysoline LD (Bayer)	400/290	0,2	
Sylrit (Metroark)	350/320	0,0	
BS 15 (Wacker)	450/430	0,1	
Steinfestiger H (Wacker)	290/290	0,0	

12.2



12.3

12.4

12.2 Valorile w ale tencuielilor din lut, cu învelişuri
12.3 Picătura de apă pe o suprafaţă care a fost prelucrată cu substanţe impermeabile (dreapta, unghiul este mai mare de 90), iar pe suprafaţa neprelucrată (stânga, unghiul este mai mic de 90)
12.4 Test simplu, de pulverizare (LCC)
12.5 Biserica San Francisco de Asis, Ranchos de Taos, SUA

12.5

vopseluri ar trebui să fie mai slab spre exterior decât spre interior.
Proprietăţile de difuzie a vaporilor ale vopselelor disponibile pe piaţă nu sunt menţionate pe ambalajele lor, aşa că experienţa este importantă în evaluarea caracteristicilor acestora. Rezultatele testelor conduse de LCC şi realizate cu mai multe vopsele, învelişuri, tencuieli impermeabile şi cu alte substanţe impermeabile sunt prezentate în *12.1*.

Penetrarea apei

Absorbţia apei prin capilaritate (vezi capitolul 2, p.27) a suprafeţelor din lut este influenţată în mod semnificativ de învelişurile acestora. Tabelul *12.2* furnizează câţiva coeficienţi de absorbţie a apei capilare (valori w), din tencuielile de lut, obţinuţi printr-o varietate de prelucrări sau în lipsa acestora:

Suprafeţe rezistente la apă

Substanţe impermeabile

Mai multe lichide incolore pot fi folosite pentru a impregna suprafeţele din lut, făcându-le impermeabile. O suprafaţă dată, impregnată, este considerată impermeabilă dacă unghiul dintre tangenta la picătură şi suprafaţa de contact este mai mare de 90° (*12.3*). Agentul impermeabil penetrează porii lutului, fără să-i astupe, aşa că, în timp ce absorbţia de apă capilară este redusă în mod semnificativ; nu la fel se întâmplă şi cu difuzia vaporilor. De regulă, aceste substanţe sunt dizolvate în alcooli organici, hidrocarburi sau apă.
Pot fi deosebite următoarele grupuri de substanţe impermeabile:
- silan şi siloxani
- polisiloxani (răşini siliconice)
- siliconaţi
- răşini acrilice
- ester de silicat, cu aditivi hidrofobi
- silicaţi, cu aditivi hidrofobi.

Silanul, siloxanii şi răşinile de silicon reacţionează din punct de vedere chimic cu substanţele minerale din lut şi sunt foarte rezistente la intemperiile vremii; aceştia reduc absorbţia de apă cu mai mult de 90%. Difuzia vaporilor este redusă cu doar 5%-8%.
Esterul de silicat şi răşinile acrilice prezintă efecte promiţătoare similare, de impermeabilitate, dar acestea reduc difuzia vaporilor cu 15%-30%. Întrucât substanţele impermeabile găsite pe piaţă au compoziţii diferite şi efecte variate, acestea ar trebui testate înainte de utilizare. Coeficientul de absorbţie al apei w al diferitelor tencuieli din lut, care au fost inundate de două ori cu diferite substanţe impermeabile, se află între 0,0 şi 0,2 $kg/m^2h^{0.5}$ (vezi *12.2*).

Aplicarea substanţelor impermeabile

Cu aşa-numită tehnică de „inundare", substanţele impermeabile sunt aplicate cel puţin de două ori, aplicate cu trafaletul, pentru ca lichidul să se prelingă şi să curgă, în timp ce trafaletul este tras în jos pe suprafaţă. Cea de-a doua inundare trebuie să se facă înainte ca prima să se usuce. Suprafaţa de lut trebuie să fie uscată şi nici mai rece de 8°C, dar nici mai caldă de 25°C, înainte de a fi prelucrată. Doar silanii şi siloxanii necesită ca stratul suport să fie oarecum umed. În mod normal, această aplicare trebuie să fie repetată o dată la câţiva ani, din cauza efectului de deteriorare pe care-l produce vremea asupra acestor substanţe impermeabile.

Testarea

O metodă simplă de verificare a cantităţii de apă respinsă, folosită de LCC, este prezentată în *12.4*. Aici, eşantioanele prelucrate de testare sunt rotite cu o rată de 7,5 rotaţii/minut pe o bază şi trecute sub duş, unde apă de 36°C este pulverizată cu un debit de 12 litri/minut printr-un duş manual, obişnuit. Un alt aparat mai sofisticat a fost descris în capitolul 2, p.26.

Tencuieli pe bază de var

Tencuielile din lut folosite pe zidurile exterioare (descrise în capitolul 11) sunt potrivite doar dacă nu au crăpături şi sunt rezistente la apă. De regulă, suprafeţele expuse nu ar trebui să conţină tencuieli din lut, cea mai obişnuită alternativă fiind tencuială din var. Tencuielile din ciment nu sunt potrivite, pentru că sunt prea casante. Acestea nu pot rezista în faţa unor forţe intense, de tip termic şi hidric, fără să se crape, permitând astfel apei să pătrundă în lut şi să provoace o acţiune de umflare,

care lărgește crăpăturile pe rând și duce chiar la exfoliere.
În timpul reparațiilor întreprinse în 1992, cea mai veche casă nemțească din pământ bătut cu maiul, construită în 1795 (*1.10*), s-a descoperit că prezintă o mare eroziune datorită înghețului, care a distrus lutul până la adâncimea de 20 cm, din cauză că apa a penetrat prin tencuiala de ciment, aplicată cu câteva decenii înainte. Un fenomen similar a fost raportat din New Mexic, SUA, de către Bourgeois (1991). În timpul unui proces de restaurare desfășurat în 1967, biserica din Ranchos de Taos (*12.5*), construită din chirpici în 1815, a fost acoperită cu tencuială din ciment. Unsprezece ani mai târziu, tencuiala din ciment a trebuit să fie demolată, atunci când lutul de dedesubt a manifestat o deteriorare puternică, din cauza umidității. În zonele cu climă rece, uscarea rapidă a peretelui este necesară dacă ploaia pătrunde din exterior sau dacă are loc condesarea vaporilor din interior. Prin urmare, rezistența la difuzia vaporilor a stratului exterior ar trebui să fie mai scăzută decât cea a stratului interior.

Standardul german DIN 18550 (Partea 3) afirma că tencuielile exterioare, impermeabile, ar trebui să îndeplinească următoarele condiții: coeficientul de absorbție a apei $w \leq 0{,}5$ kg/m² · h$^{0{,}5}$, rezistența specifică la difuzia vaporilor s_d trebuie să fie ≤ 2,0 m, iar produsul $w \cdot s_d \leq 0{,}2$ kg/m · h$^{0{,}5}$.
Următoarele secțiuni descriu compoziția și aplicarea tencuielilor care nu conțin lut.

Pregătirea stratului suport

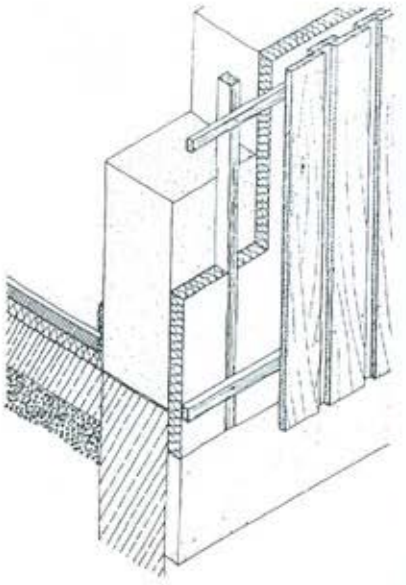
Pentru a asigura o aderență bună, suprafețele din lut care trebuie tencuite ar trebui să fie uscate și aspre. Suprafețele netede ar trebui pulverizate cu apă, pentru că straturile lor exterioare să se umezească și să se umfle, după care acestea pot fi crestate pe diagonală, cu o adâncime de 2-3 mm, așa cum se arată în *11.2*. În timp ce suprafața astfel pregătită este încă umedă, ar trebui amorsată cu lapte de var subțire, care ar trebui să pătrundă în stratul suport, până la adâncimea de câțiva milimetri. Un amestec de 0,5 până la 1 parte de brânză albă, fără grăsimi, 2 părți de var hidraulic și 30 de părți de apă, s-a dovedit, de asemenea, a fi potrivit. Dacă tencuiala din var este expusă unor forțe termice puternice, dacă zona intactă a suprafeței de tencuială este foarte mare sau dacă aderența este slabă, pentru folosirea tencuielii ar putea fi necesare plasele metalice, expandate sau împletiturile de stuf, fixate de stratul suport. Atunci când se folosesc împletituri din stuf, este recomandabil ca acestea să fie scufundate în lapte de var, pentru a preveni putrezirea.

Întărirea

Panourile intacte mai mari, expuse la puternice forțe termice, ar putea avea nevoie de întăriri. În acest scop, este folosită de obicei o rețea galvanizată din oțel, cu plase hexagonale (plase din sârmă, pentru iepuri sau păsări) sau sunt utilizate niște rețele asemănătoare. Muncitorii preferă de multe ori să folosească rețele din plastic acoperite cu fibre de sticlă, pentru că acestea nu se corodează și sunt mai flexibile.

Compoziția

Tencuiala normală din var constă de obicei dintr-o parte de var hidraulic și 3-4 părți de nisip. Întrucât este utilizată în mod obișnuit peste tot în construcții, nu mai este pusă în discuție în cadrul acestei cărți. În orice caz, tencuielile din var și cazeină sunt mai puțin obișnuite și, de aceea, sunt descrise mai jos. Rețetele vechi recomandă adesea, adăugarea părului de animal și a cazeinei la o tencuială obișnuită, pentru a-i îmbunătăți comportamentul. În vremurile de odinioară, cazeina era adăugată sub forma de zer sau lapte bătut. Cazeina și varul reacționează din punct de vedere chimic pentru a alcătui albuminatul de calciu, un compus rezistent la spălare. Adăugarea cazeinei reduce absorbția apei din tencuiala de var, dar în același timp împiedică difuzia vaporilor.
În cadrul LCC, a fost testată cu succes o tencuială din var și cazeină pentru lucrările din exterior. Amestecul constă dintr-o brânză fără grăsimi, var hidraulic și nisip, în proporție de 1/10/40. Varul trebuia să fie mai întâi amestecat intens cu brânză, pentru a forma o pastă cremoasă, fără adăugarea nici unui strop de apă. După ce amestecul se lasă să stea o perioadă, trebuie adăugate apa și nisipul. Pentru o tencuială mai subțire, care poate fi aplicată cu pensula, ar putea fi necesar un amestec puțin diferit, cu proporția de 1/6/25 a acelorași ingrediente. În zonele cu climă



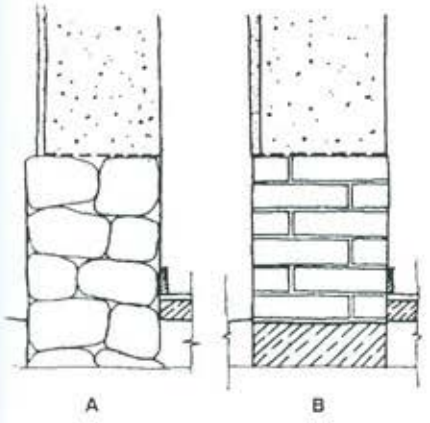
12.7

12.6 Valorile μ ale tencuielilor din var (cifrele mai sus menționate ca părți volumetrice)
12.7 Perete din lut, cu izolație exterioară, suplimentară și placaj din lemn cu strat de aer ventilat
12.8 Modele de socluri, realizate corect și incorect

Var	Tuf	Nisip	Brânză fără grăsimi	Ulei de in	Lut argilos	Baligă de vacă	Valori μ
1	-	3	-	-	-	-	11,2
-	1	3	-	-	-	-	10,8
1	-	6	0.5	-	-	-	6.2
1	-	15	0.5	-	3	-	9.7
1	-	3	-	0.05	-	-	15.2
1	-	3	0.25	0.05	-	-	28.5
1.5	-	10	-	-	2	6	8.0

12.6

12.8



caldă ar trebui adăugată niște sare de bucătărie, pentru a menține tencuiala din var umedă o perioadă mai îndelungată, fapt care îmbunătățește procesul de întărire.

Aplicarea

Înainte de aplicarea tencuielii, suprafața de lut ar trebui să fie umezită și amorsată cu lapte de var și cazeină. Tencuiala este apoi aplicată în două straturi, făcând ca grosimea totală să aibă un nivel maxim de 20 mm. Pentru o întărire mai rapidă, în primul strat poate fi adăugat niște ciment. Cel de-al doilea strat ar trebui aplicat în timp ce primul este încă puțin umed. Atunci când apar crăpăturile de contracție, acestea ar trebui să fie umezite cu o pensulă înmuiată în laptele de var și apoi astupate prin frecarea cu o mistrie. Trebuie notat faptul că tencuielile din var se întăresc atunci când intră în contact cu dioxidul de carbon din aer, iar acest proces este posibil doar în prezența unei umidități suficiente. Drept urmare, pereții ar trebui adăpostiți de lumina directă a soarelui și de vânt sau ținuți umezi cu ajutorul unui material jilav. Tencuielile de interior pot fi aplicate într-un strat. Tencuiala din ipsos sau cea din ipsos și var, cu sau fără cazeină, poate fi, de asemenea, folosită la lucrările din interior. În orice caz, tencuielile din ciment nu ar trebui folosite nici măcar la interior.

Efectul asupra difuziei vaporilor

Efectul de adăugare a uleiului de in dublu rafinat și a cazeinei, asupra reducerii difuziei vaporilor din tencuielile de var, a fost testat în cadrul LCC. Valorile coeficientului μ obținute, de rezistență la răspândirea vaporilor, sunt înscrise în tabelul *12.6.*

Șindrile, scânduri și alte protecții

În afară de tencuieli și vopseluri, șindrilele, scândurile, panourile mai mari sau pereții din cărămizi arse, despărțiți de un strat de aer, pot fi folosiți pentru protejarea zidurilor din lut. Aceste metode sunt folositoare mai ales dacă se aplică din exterior o izolație termică suplimentară. O metodă obișnuită este prezentată în *12.7.* În Mesopotamia (Irak), straturile de cărămizi arse smălțuite au adăpostit pereții din chirpici timp de mii de ani. Este întotdeauna recomandabil ca astfel de straturi învelitoare să fie separate de perete printr-un strat de aer, pentru că ploaia care pătrunde să se poată drena și să nu afecteze peretele.

Metode structurale

Protecția împotriva ploii

O metodă de a preveni intrarea ploii în contact cu peretele din lut este aceea de a-i asigura un acoperiș proeminent. Un soclu suficient de înalt (30-50 cm) poate proteja de ploi. Rostul zidului, împreună cu soclul, trebuie să fie proiectate cu atenție, pentru că apa de ploaie să poată să se scurgă fără obstacole și fără să pătrundă în rostul dintre perete și plintă. În *12.8,* soluția A este inacceptabilă. Soluțiile B și C ar putea fi acceptabile în zone cu puțină ploaie. Soluția D este una obișnuită, în vreme ce E și F prezintă schițe perfecte de combatere a acestei probleme.

Protecția împotriva umezelii care urcă prin capilaritate

Pereții exteriori din lut trebuie să fie protejați împotriva umezelii care urcă prin capilaritate, în același mod precum cărămizile arse sau pereții din zidărie de piatră. Se folosesc straturile rezistente la umiditate, de obicei din pâslă bituminoasă, iar uneori se utilizează plăcile din plastic sau metal. Întrucât aceste mijloace sunt foarte scumpe în țările în curs de dezvoltare, de multe ori se folosește ca alternativă un strat gros de 3-4 cm, bogat în mortar de ciment. Acesta ar trebui să fie impregnat cu bitum sau ulei uzat, foarte fluid.

Protecția împotriva inundației

În bucătării și sălile de baie, zona soclului ar trebui să aibă o bordură rezistentă la apă, făcută din plăci de faianță, plăci de ardezie, tencuială bogată în ciment etc. Modelul bordurii ar trebui să prevină ajungerea apei la peretele din lut, apa provenită de la scurgeri sau țevile sparte, care ar putea inunda pardoselile.

13 Repararea componentelor din lut

13.1

Reparaţia porţiunilor deteriorate din lut, mai ales a crăpăturilor şi a rosturilor mai mari, solicită măsuri speciale, diferite de cele folosite pentru zidăria standard şi pentru tencuielile din var. Acest capitol descrie probleme de reparaţie specifice pentru lut şi metodele de asigurare a izolaţiei termice, folosind lutul uşor.

Degradarea componentelor din lut

Deteriorarea în cadrul componentelor din lut poate apărea din cauza contracţiei şi dilataţiei termice, prin impactul apei sau prin impactul mecanic şi prin abraziune. Dacă o tencuială se contractă atunci când se usucă sau nu aderă suficient la suprafaţa solului, s-ar putea separa de aceasta. Asemenea zone slabe pot fi uşor localizate, ciocănind tencuiala cu articulaţiile degetelor. Dacă o cantitate mare de apă face condens în perete şi nu poate fi eliminată destul de repede, lutul ar putea să se umfle şi să determine căderea tencuielii. O astfel de deteriorare mai poate apărea şi când apa se infiltrează din exterior, printre crăpături sau goluri. Şi îngheţul poate cauza o deteriorare asemănătoare, dacă peretele este umed, iar apa îngheţată se extinde.

Repararea fisurilor şi a îmbinărilor cu umplutură de lut

Rosturile şi crăpăturile din cadrul componentelor de lut uscat nu pot fi reparate cu lut maleabil, pentru că acesta nu aderă la suprafaţa de lut uscată. Atunci când se usucă, umplutura se va separa şi poate cădea. De aceea, este important ca rostul să fie prelucrat înainte şi să se folosească un amestec care să prezinte o contracţie cât mai mică.

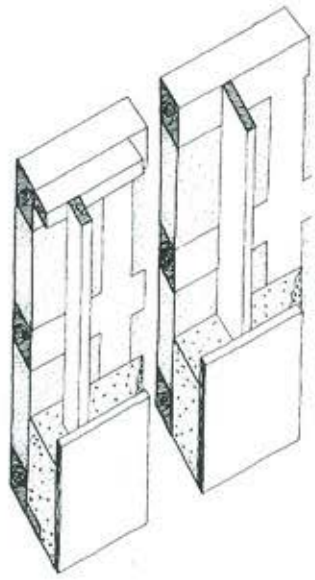
Amestecurile

În timpul proiectării compoziţiei umpluturii de lut pentru crăpături şi rosturi, ar trebui să se ia în considerare următoarele:
- Umplutura trebuie să aibă o putere de întărire suficientă pentru a se lipi de suprafeţele umezite ale crăpăturii sau rostului.
- Amestecul ar trebui să conţină suficient nisip brut sau alte particule brute pentru a se minimaliza contracţia. Mai pot fi adăugate fibrele sau părul, din acelaşi motiv.
- Pentru a scădea timpul de întărire, se pot adăuga ipsos, var sau ciment. Pentru că aceşti aditivi produc o slăbire a amestecului, contracţia este redusă. Dezavantajele

în timpul adăugării acestor substanțe ar putea fi o forță de întărire și o putere de compresie reduse.
Rosturile și crăpăturile din elementele interne pot fi umplute cu un amestec dintr-o parte de lut, 0,5-1 părți de var hidraulic și 0,5-1 parte de ipsos.
Dacă rosturile sunt expuse la intemperiile vremii, ipsosul nu ar trebui folosit, dar cimentul, varul hidraulic, superior sau un amestec al acestora, însumând de la 8% până la 20%, pot fi folosite ca aditiv. În locul acestor lianți mai poate fi adăugat și uleiul de in dublu rafinat, în proporție de 4% până la 7%. Această umplutură rămâne maleabilă timp de mai multe săptămâni.

Aplicarea umpluturii

Pentru a obține o aderență bună între vechea suprafață de lut și materialul de umplere, crăpăturile ar trebui destupate până la 1 cm, particulele desprinse să fie date la o parte, iar marginile rosturilor să fie suficient de bine umezite, pentru ca lutul să se umfle și să devină maleabil la suprafață. Când lutul cu ulei de in dublu rafinat se folosește ca umplutură pentru reparații, suprafața trebuie să fie prelucrată cu ulei de in.
Umplutura maleabilă este aplicată mai întâi cu un cuțit pe ambele părți ale rostului, iar deschizătura este apoi astupată cu un amestec mai uscat, provenind din aceeași umplutură, care este compactat sau lovit cu ciocanul în interiorul rostului (vezi *8.29*).
Este recomandabil ca rostul să fie umplut cu mai mult material decât este necesar, ca, după ce umplutura se contractă prin uscare, acesta să poate fi compactat din nou, cât mai este încă puțin umed.



13.2

13.1 Pompare lut mineral ușor
13.2 Strat suplimentar de lut mineral ușor introdus într-un perete cu cadru de lemn

Repararea fisurilor și a îmbinărilor cu alte umpluturi

Reparația crăpăturilor și a rosturilor cu o umplutură din lut necesită foarte mult timp și oarecare experiență. În orice caz, în acest capitol sunt descrise și alte umpluturi care prezintă o contracție mai scăzută, o mai bună aderență și care necesită mai puțină muncă și pricepere.

Amestecurile

Ca o alternativă la umpluturile din lut, toate materialele care pot fi în mod obișnuit folosite pentru tencuieli pot fi utilizate și ca umpluturi. Varul hidraulic superior, cimentul, ipsosul, cazeina, celuloză și uleiul de in dublu rafinat pot fi folosite ca lianți. Nămolul, nisipul și pietrișul, la fel ca și agregatele organice precum pluta, rumegușul, pleava de cereale și orez și ziarele mărunțite pot fi folosite ca umpluturi.
La repararea rosturilor din exterior, nu ar trebui să se folosească materia organică, cu excepția cazului în care amestecul are o valoare crescută a pH-ului (care previne dezvoltarea microorganismelor).
Amestecurile sintetice din acrilic sau silicon elastic pot fi și ele folosite ca umpluturi. Siliconul aderă la lut, cu condiția ca suprafața rostului să fie uscată și lipsită de particule desprinse înainte de aplicare.

Repararea degradării pe arii extinse

Reparația cu ajutorul lutului

Zonele mai mari erodate sau exfoliate ar trebui să fie reparate prin răzuirea întregului lut desprins, iar apoi, prin udarea suprafeței înainte de aplicarea unui nou lut, așa cum este descris în capitolul 11, în fragmentul despre tencuielile de lut.
Pentru a reduce contracția, fiecare strat al tencuielii de lut nu ar trebui să fie mai gros de 1-1,5 cm. Dacă zona deteriorată este mai adâncă de 2 cm, se recomandă răzuirea suprafeței, până la o adâncime de 4-6 cm. Aceasta este apoi umplută cu chirpici sfărâmat și cu mortar slab. În zone predispuse la îngheț, cărămizile crude nu sunt recomandabile, pentru că acestea nu sunt rezistente la îngheț.

Finisajul

Dacă finisajul unei suprafețe din lut urmează a fi reparat, vechiul finisaj ar trebui mai întâi răzuit. Zona este apoi amorsată înainte de aplicarea noului strat. Pentru acest lucru, poate fi folosite laptele de var și cazeina, așa cum este descris în capitolul 12, p.99.
Dacă suprafața este foarte nisipoasă și moale, este mai bine să se facă o amorsare cu clei de var și cazeină. Acesta este pregătit dintr-o parte de var hidraulic și 5 părți

de brânză, fără grăsimi, amestecate intensiv timp de două minute, fără adăugarea apei. Amestecul este lăsat să stea o perioadă şi apoi este subţiat cu apă, într-o proporţie de 1:5. Acest clei ar trebui folosit în interval de o oră (Letzner şi Stein, 1987, p.145).

Asigurarea izolării termice cu ajutorul lutului uşor

Această secţiune descrie aspectele generale, fizice şi structurale, care trebuie să fie luate în considerare la sporirea izolaţiei termice a pereţilor exteriori existenţi, prin folosirea lutului uşor. Diferitele tipuri de agregate corespunzătoare sunt descrise în capitolul 4, p.47. Folosirea lutului uşor ca umplutură pentru casele de paiantă este menţionată în capitolul 9, p. 82, iar modelele de pereţi din pământ, cu o izolaţie foarte mare, sunt discutate în capitolul 14, p.106.

Condensul

Secolul 20 recent încheiat a asistat la o deteriorare considerabilă a caselor istorice de paiantă din Germania. O mare parte a acesteia s-a petrecut din cauza condensului din pereţi, un tip de deteriorare care înainte nu a avut loc.

În zilele noastre se produce mai multă umiditate în bucătării şi în sălile de baie decât în vremurile anterioare. În timp ce astăzi un duş cald, zilnic, este ceva obişnuit, înainte oamenii obişnuiau să se spele cu apă rece, într-un bazin. Mai mult decât atât, hainele erau spălate în afara casei, într-o dependinţă sau într-o zonă deschisă şi uscate în aer liber. În prezent lucrurile sunt de obicei spălate şi uscate în interiorul casei. Toţi factorii de mai sus contribuie la producerea unei umidităţi mult mai ridicate în casa de paiantă actuală. De asemenea, temperaturile din interior sunt mult mai ridicate în zilele noastre, în comparaţie cu vremurile dinainte. De aceea, deşi umiditatea relativă a aerului din interior ar putea fi aproape aceeaşi, umiditatea totală este semnificativ mai mare. Mai mult decât atât, uşile şi ferestrele caselor de paiantă, în prezent sunt mult mai bine etanşate. De aceea, rata de schimb a aerului este redusă foarte mult.

Toţi aceşti factori conduc la un condens mai mare în interiorul pereţilor. Drept urmare, este esenţial ca proprietăţile pereţilor de difuzie a vaporilor să fie atent controlate.

Izolaţia termică

Pereţii exteriori ai unor case tipice de paiantă au grosimi de 14-20 cm. Umplutura peretelui de paiantă constă din cărămizi arse, chirpici sau vălătuc. Valoarea U a acestor umpluturi se găseşte între 2,0 şi 2,7 W/m^2K. Luând în considerare pereţii de paiantă, atunci rezultă o valoare totală U de 1,2 până la 2,2 W/m^2K. Transmiterea căldurii prin aceşti pereţi este astfel, de trei până la şase ori mai mare decât ar trebui să fie în zonele cu climă moderată şi rece, conform standardelor moderne. Cea mai simplă soluţie şi cea mai bună, în termeni fizici, este aceea de a creşte izolaţia termică din exterior, cu alte cuvinte de a îmbrăca construcţia în izolaţie termică. Dacă locuinţa este un reper istoric şi de aceea nu este permisă acoperirea ei cu o izolaţie termică din exterior, o izolaţie termică suplimentară trebuie să fie aplicată din interior. Acest lucru de obicei cauzează probleme, pentru că în practică punţile de căldură şi cele de vapori nu pot fi complet evitate. Aceasta poate duce la o umezire parţială a zidului din cauza unui nivel înalt de condensare şi, ulterior, la o deteriorare a suprafeţei peretelui. Mai mult decât atât, creşte pierderea de căldură şi poate conduce la dezvoltarea ciupercilor.

Straturile de lut uşor

O posibilă metodă de aplicare a unei izolaţii interioare, suplimentare, este prezentată în *13.2*. Aici, un cofraj este fixat de distanţierii montaţi pe zidul istoric, iar un strat de lut mineral uşor este turnat sau pompat înăuntru. Este important să nu existe nici un spaţiu format între cele două canate, pentru ca transportul apei capilare şi a vaporilor să nu fie împiedicat.

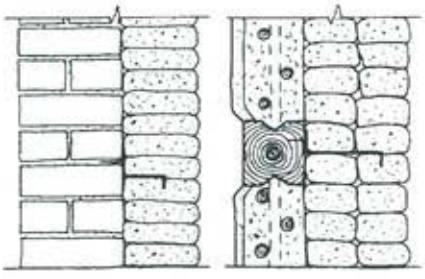
În proiectul prezentat în *13.1*, unui grup de cinci oameni i-au trebuit opt ore ca să definitiveze 60 m^2 din acest perete, folosind metoda de pompare aşa cum este descrisă în capitolul 10, pentru a aplica un strat cu grosimea de 15 până la 25 cm de lut uşor. Imaginea *13.3* prezintă suprafaţa terminată a acestui perete, după ce a fost scos cofrajul. Materialul are o densitate de aproximativ 1000 kg/m^3. Această densitate relativ ridicată a fost aleasă pentru a obţine o izolaţie fonică suficientă, o acumulare a căldurii şi un efect de stabilizare a umezelii.

Aceeaşi metodă poate fi folosită pentru a realiza o izolare termică exterioară, dar în acest caz se recomandă un amestec de lut cu densitate mai mică.

13.3

Elementele prefabricate

O metodă chiar mai simplă de realizare a unui strat cu izolaţie termică interioară este aceea de a folosi elemente din lut prefabricate, precum blocurile mai mari sau panourile, aşa cum este descris în capitolul 7, sau de a utiliza rulouri umplute cu lut uşor, aşa cum este descris în capitolul 10. Acestea pot fi aşezate fără cofraj pe perete, în stare plastică, într-unul sau două straturi, aşa cum se arată în *13.4*. În acest caz, este preferabil să fie turtite şi fixate pe zidul existent cu cârlige din sârmă de oţel (4 cârlige pe m^2).



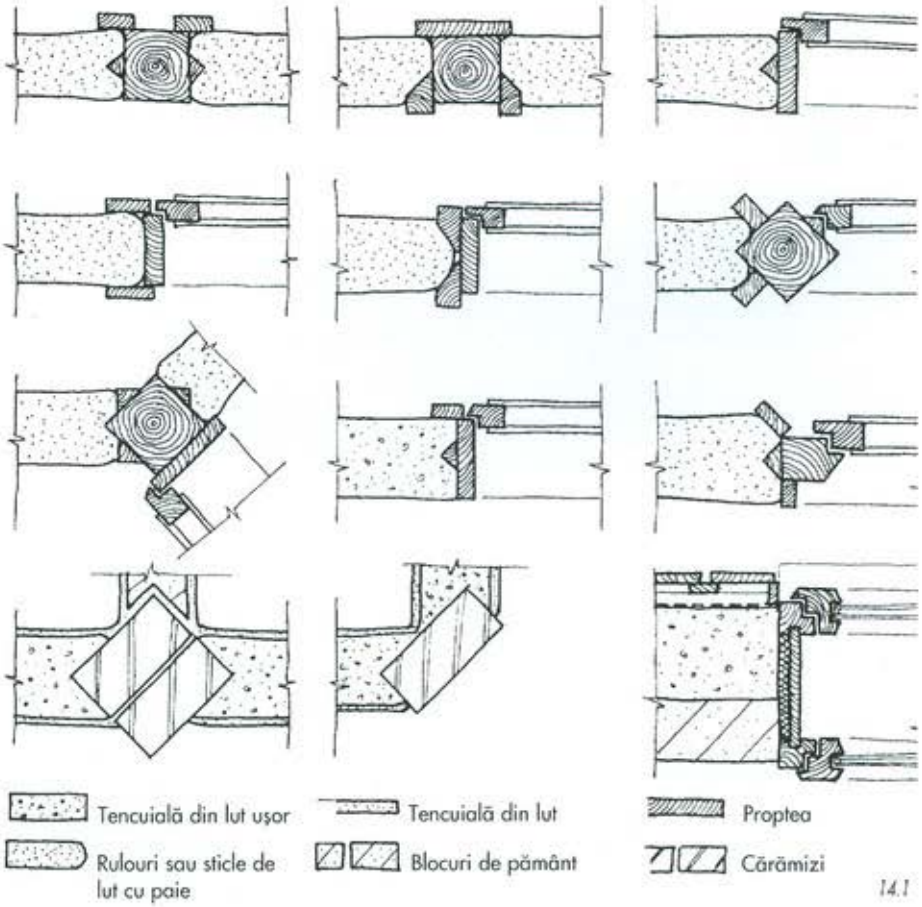
13.4

13.3 Suprafaţa unui perete din lut mineral uşor, cu o densitate de 1000 kg/m^3, după scoaterea cofrajului
13.4 Izolaţie termică suplimentară de interior folosind rulouri umplute cu lut uşor

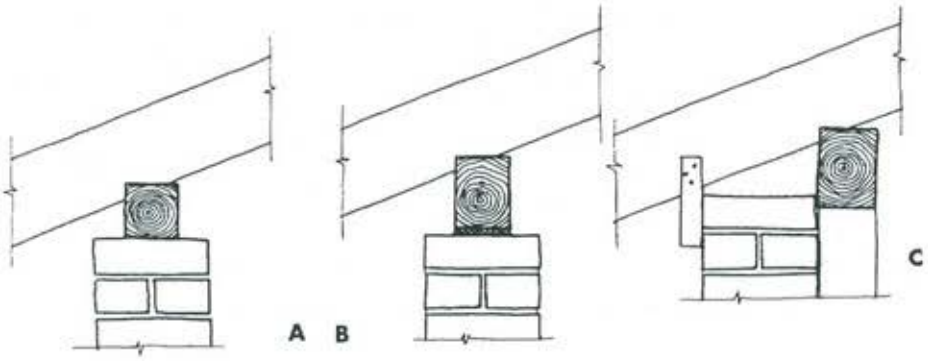
14 Modele de elemente de construcție specifice

Îmbinări (Rosturi)

Când avem de-a face cu elementele din lut, grinzi, ferestre sau tocuri de ușă, trebuie reținute următoarele considerente:
Prin tehnicile lutului ud se produc fisuri din cauza contracției lutului.
Chiar și atunci când lutul este uscat sau când sunt folosite elemente uscate din lut, se pot produce rosturi din cauza contracției lemnului în timpul uscării sale, un proces care poate să dureze până la doi ani (până când lemnul capătă un conținut echilibrat de umezeală). Structurile din lemn continuă să se umfle și să se contracte puțin la folosire, din cauza absorbției și a cedării umidității.
Imaginea *14.1* prezintă câteva modele posibile de rosturi de *stranglehm* și respectiv de rulouri umplute cu lut, chirpici și lut ușor, cu suporturi din lemn sau zidărie din cărămidă sau cu cadre din lemn, pentru uși și ferestre. Căpriorii acoperișului nu ar trebui să stea



14.1 Posibile modele de rosturi de *stranglehm* și respectiv de rulouri umplute cu lut, chirpici și lut ușor cu suporturi din lemn sau zidărie din cărămidă sau cu cadre din lemn, pentru uși și ferestre (secțiuni orizontale)



14.2

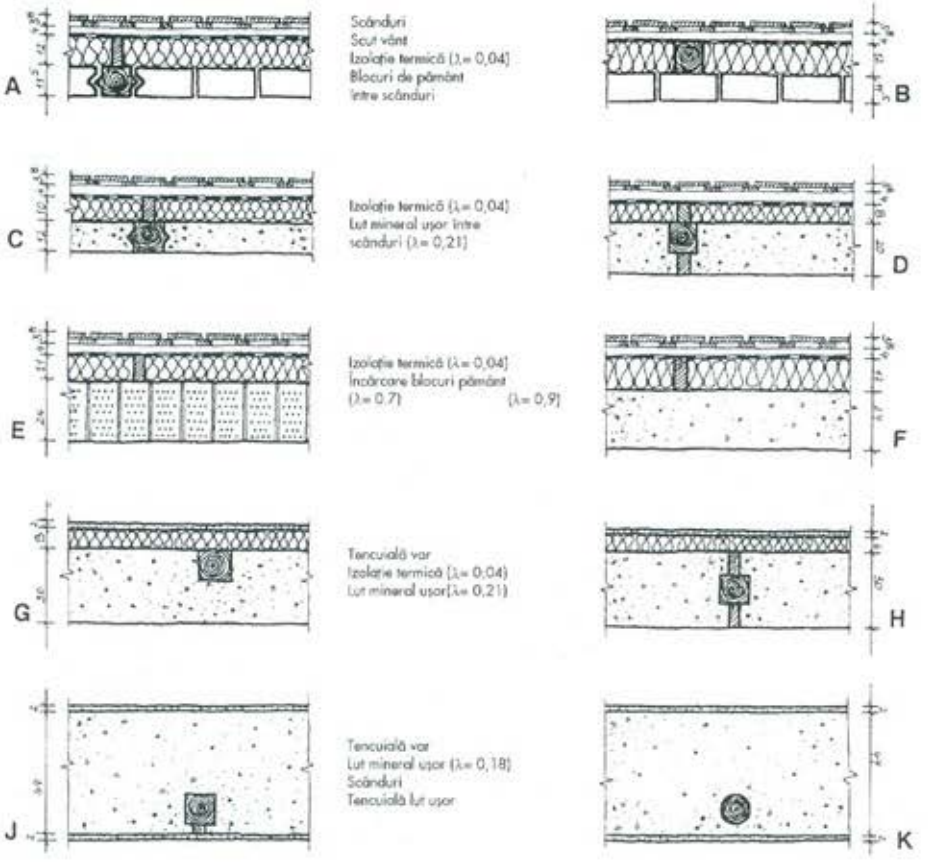
direct pe peretele din pământ, ci pe cosoroabe sau pe grinzi din lemn, așa cum se poate vedea în *14.2 A*. În cazul în care căpriorii stau pe o structură din lemn alcătuită din suporturi și grinzi, iar peretele nu este portant, trebuie să se țină cont de contracția structurii din lemn.
În *14.2 B*, între grindă și perete a fost introdusă o substanță de etanșare elastică pentru a asigura o toleranță suficientă pentru această contracție; în timp ce în *14.2 C*, sistemul structural este separat de perete, permițând astfel o mișcare verticală, mai amplă, a structurii din lemn.

Modele specifice de pereți

Pereți din lut, cu izolație termică ridicată

Valoarea U a unui perete din pământ bătut cu maiul, cu o grosime de 30 cm (fără agregatele ușoare), este de apoape 1,3 W/m^2K. Pentru obținerea unei valori U de 0,3 W/m^2K pentru perete, acesta va trebui să fie gros de 1,65 m. Acest lucru arată că în zonele cu climă rece, acolo unde este necesară o izolație termică ridicată, nu este posibilă construirea doar cu lut normal. Exemplele furnizate în *14.3* nu prezintă doar o izolație termică suficientă, la o valoare

14.3



14.2 Secțiuni verticale ale unei structuri a acoperișului și ale unor pereți portanți și neportanți.
14.3 Secțiuni orizontale ale unor diferiți pereți din lut, cu valori de 0,3 W/m^2K
14.4 Perete din anvelope auto aruncate, umplute cu pământ, SUA
14.5 Cupolă construită din rulouri umplute cu pământ, Kassel, Germania
14.6 Clădire prototip, Kassel, Germania

14.5

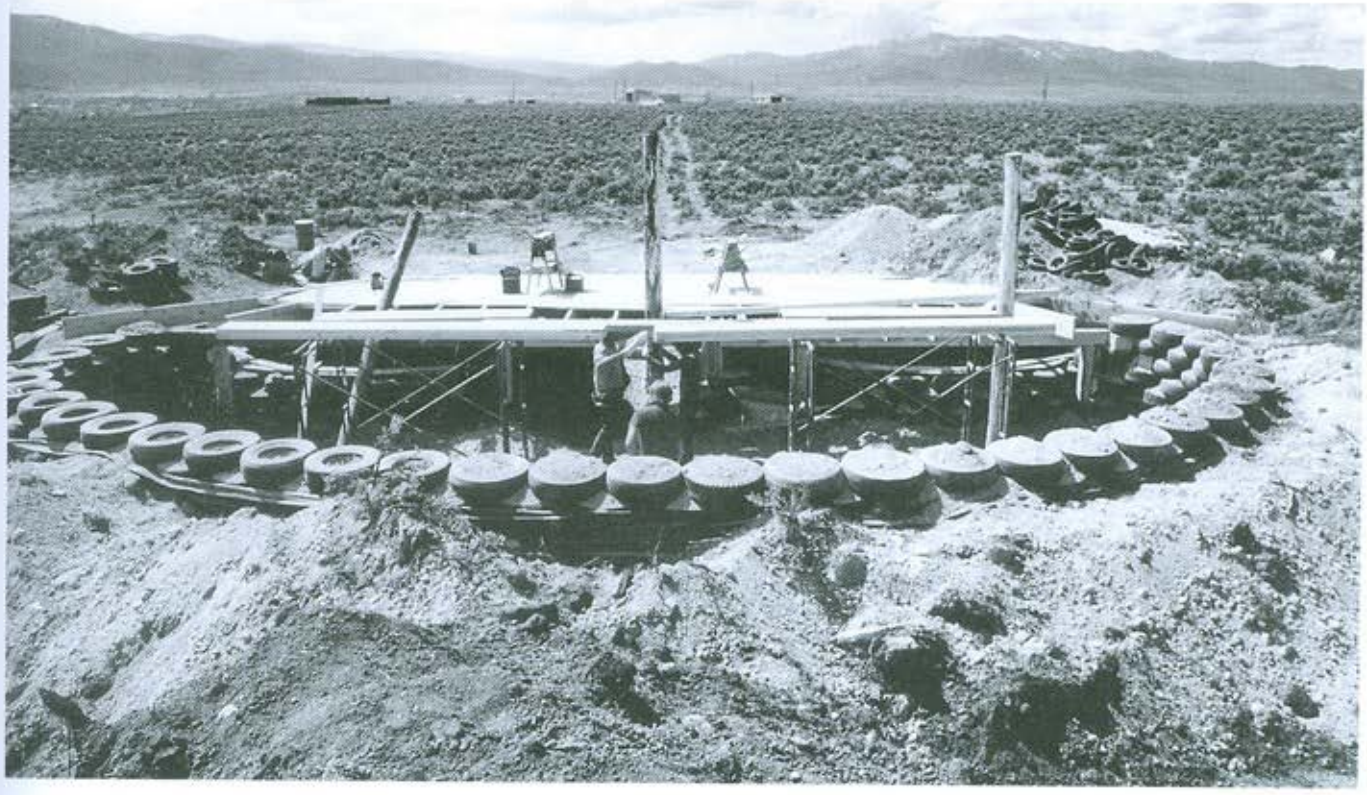
14.6

U de 0,3 W/m^{2}K, ci sunt proiectate și pentru a avea destulă inerție termică pentru stabilizarea temperaturii aerului din interior, o cantitate suficientă de lut pentru stabilizarea umidității aerului din interior, precum și o izolație fonică suficientă. Modelele E și F sunt pentru pereți portanți, pe când celelalte nu sunt pentru astfel de pereți. Panourile exterioare de izolație termică, prezentate în G și H, pot fi folosite ca un cofraj fals pentru turnarea lutului ușor, având, în același timp, rol de suport pentru tencuiala exterioară din var. Cele mai simple și mai performante soluții sunt J și K, care sunt alcătuite din pereți din lut ușor, cu o densitate monolitică, scăzută. În zonele cu climă predispusă la ploi puternice, modelele de la A la F sunt de preferat, pentru că acestea conțin un strat exterior separat, care acționează ca protecție împotriva vremii.

Pereții din anvelope, umpluți cu pământ

O posibilă metodă de folosire a elementelor cu umplutură de lut ușor pentru pereți a fost descrisă în capitolul 10, p.89. Dacă cerințele în privința izolației nu sunt foarte mari, acești pereți pot fi umpluți cu pământ argilo-nisipos, simplu.

14.4



Michael E. Reynolds a construit numeroase reședințe în New Mexic, SUA, cu pereți făcuți din anvelope auto aruncate, umplute cu pământ excavat din fundație. Doar anvelopa superioară era umplută cu beton, de care era fixată o ancoră inelară, din lemn. Suprafața interioară era acoperită cu o plasă metalică și apoi tencuită.

Sacii umpluți cu pământ

Laboratorul de Cercetări în Construcții (LCC) din cadrul Universității Kassel, din Germania, a analizat mai multe propuneri de construire a pereților cu saci sau tuburi, umplute cu pământ sau nisip. Imaginea *14.5* prezintă o cupolă construită în 1977, din tuburi de poliester umplute cu pământ și nisip; *14.6* arată peretele unui prototip de locuință, la preț redus, construită în Kassel, în 1978. În ultimul caz, rulourile erau făcute din iută și acoperite cu mai multe straturi din lapte de var pentru prevenirea putrezirii.
Arhitectul californian Nadir Khalili a dezvoltat mai departe această idee, folosind tuburi continue, utilizate de obicei la producerea sacilor pentru zahăr sau făină. Imaginile *14.7* și *14.8* prezintă procesul de umplere și cel de batere cu maiul; *14.9* arată un exemplu pus în aplicare, din Brazilia.

14.9

Planșee intermediare

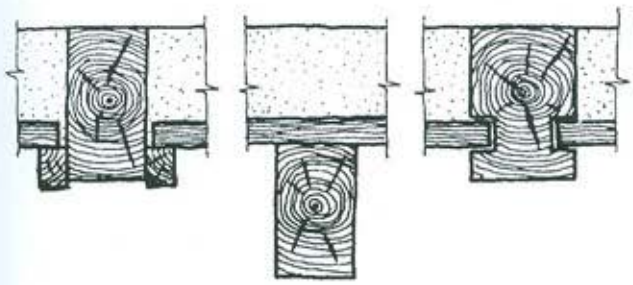
Pardoseli tradiționale, din lut

În casele tradiționale germane, cu pereți de paiantă, planșeele erau umplute cu lut pentru creșterea rezistenței la foc, pentru izolație fonică și uneori pentru izolație termică. Tehnicile tradiționale descrise aici sunt foarte solicitante din punct de vedere al muncii și, de aceea, în zilele noastre sunt folosite la renovare doar dacă acest lucru este cerut de normele de conservare ale reperului istoric.

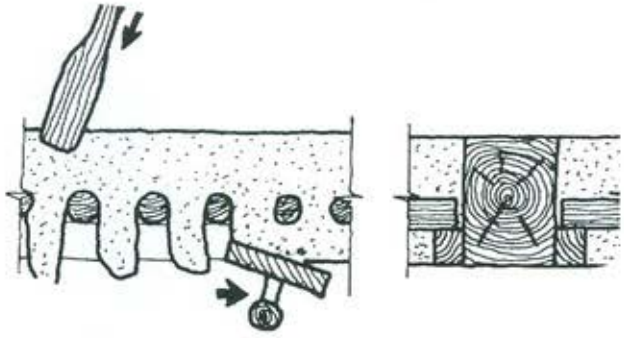
14.7 Umplerea tuburilor
14.8 Baterea cu maiul a tuburilor
14.9 Reședință, Brazilia
14.10 Planșeu din pământ bătut cu maiul, pe grinzi de lemn
14.11 Planșeu tip *spalier*
14.12 Planșeu umplut cu rulouri de lut cu paie
14.13 Secțiune verticală într-un planșeu din lemn, cu umplutură de cărămizi crude
14.14 Planșeu din pământ cu bolțișoare

14.7

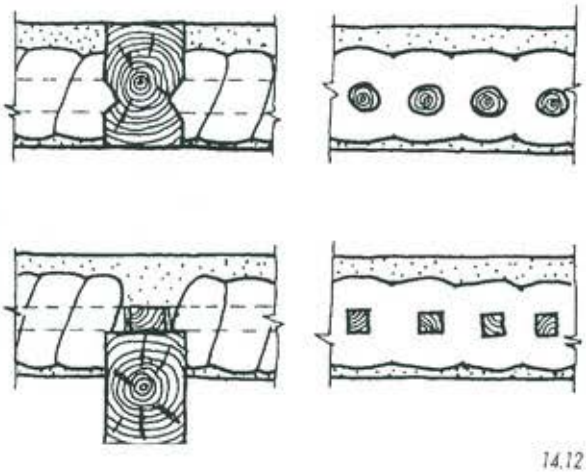
14.8



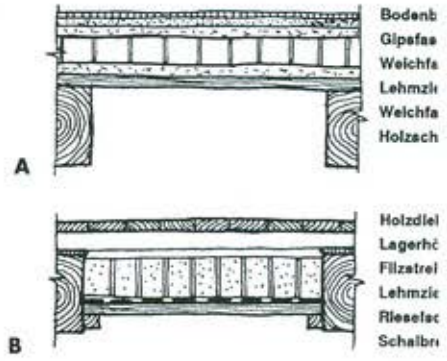
14.10



14.11

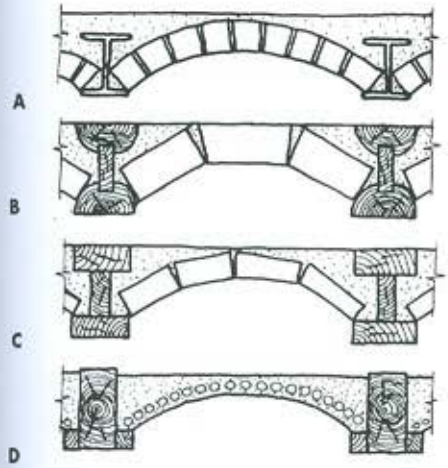


14.12



14.13

14.14



Pardoseli din pământ bătătorit

Imaginea *14.10* prezintă trei feluri diferite de folosire a pământului bătut cu maiul ca umplutură între sau pe deasupra grinzilor din lemn. Plafonul este format din scânduri de lemn aparente, deasupra cărora este compactat pământul umed. Un strat de paie este așezat pe scânduri, pentru a preveni căderea lutului printre găuri. În zilele noastre, hârtia uleiată se folosește în același scop.

Planșee *„spalier"*

Imaginea *14.11* prezintă planșee *spalier*, tradițională, nemțească, în care șipcile de lemn sunt așezate la o distanță de 3-6 cm, între grinzile pardoselii. Lutul cu paie este presat pe deasupra pentru a forma niște „limbi" între șipci. Limbile sunt mai târziu apăsate cu o mistrie, pentru a acoperi șipcile de dedesubt și a forma astfel o suprafață netedă, așa cum e arătat în imagine. O variație a acestui planșeu a fost, de asemenea, folosită în mod tradițional acolo unde, în locul utilizării mistriei, a fost întrebuințat un cofraj translatat pe orizontală.

Rulourile din lut cu paie

O altă tehnică tradițională germană întrebuințează rulourile din lut cu paie (în germană: *Wickel*) făcute în același fel, cum este descris în capitolul 9, p.81.
Un snop de paie este înmuiat în pastă de lut și tăiat elicoidal, în jurul unui băț, formând rulori din lut cu paie. Bețele din aceste rulouri ori se așează deasupra grinzii sau, altfel, sunt inserate în niște șanțuri din părțile laterale ale grinzilor (*14.12*).

Planșee moderne din lut

Astăzi, în locul umpluturilor din pământ, pentru grinzile din lemn și pentru pardoselile din scânduri se pot folosi cărămizi crude sau chirpici fără mortar, care elimină problema timpului de uscare. Imaginea *14.13 A* prezintă un model avantajos al unei astfel de pardoseli, care asigură o izolație suficientă impotriva zgomotului din aer și a celui structural. Modelul arătat în *14.13 B* are aceleași proprietăți, dar prezintă avantajul unei înălțimi structurale mai joase și dezavantajul de a fi mai solicitante din punctul de vedere al efortului depus. Imaginea *14.14* arată modele diferite

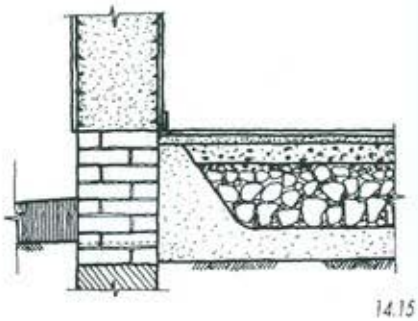
pentru pardoselile din lut cu bolțișoare. Modelele A, B și C folosesc blocuri de pământ, care transferă sarcinile dalelor către grinzi prin acțiunea bolții sub comprimare. Modelul D prezintă o boltă din lut neportant, făcută prin turnarea lutului ușor peste o împletitură curbată, din stuf.

Pardoseli din pământ bătătorit

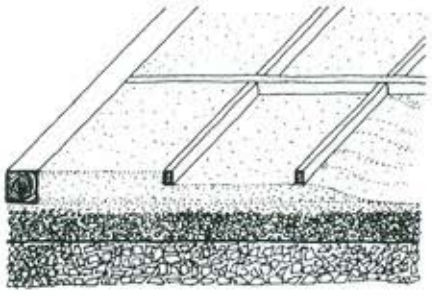
Suprafețele pardoselilor trebuie să întrunească standarde foarte ridicate. Acestea trebuie să reziste presiunii exercitate de abraziune, să fie rezistente la apă și să nu prezinte nici un fel de crăpături. Este foarte dificilă construirea unor astfel de suprafețe din lut, dar dacă acest lucru se face cu grijă, nu este imposibil. Cel mai dificil criteriu de îndeplinit este acela de a obține o putere suficientă împotriva abraziunii sau o soliditate a suprafeței (vezi capitolul 2, p.34). Este de multe ori mai ușor să se evite efortul implicat în obținerea acesteia prin folosirea cărămidei, a lemnului sau a plăcilor din piatră pentru pardoseală, în detrimentul lutului sau prin acoperirea lutului cu o carpetă, pled, material etc.

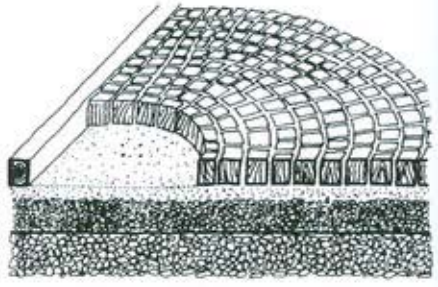
Planșeele tradiționale din pământ

Imaginea *14.15* prezintă versiunea lui Niemeyer a pardoselii tradiționale din lut (Niemeyer, 1946). Stratul de bază constă din lut, cu grosimea de aproape 15 cm, cu un conținut ridicat de argilă. Acesta acționează ca un obstacol împotriva apei și este aplicat în două straturi care sunt compactate prin lovire sau batere cu maiul, până când nu mai apare nici o crăpătură în timpul uscării. Următorul strat este alcătuit din pietriș neprelucrat, care întrerupe acțiunea capilară. Deasupra acestuia un strat gros de 10 cm din lut cu paie asigură izolația termică. Un strat suplimentar de 4 cm grosime, din lut cu paie, stabilizat cu ciment în proporție de 1/6 (o parte ciment: 6 părți lut cu paie) este adăugat, pentru că sarcinile grele să poată fi susținute. Pentru stratul final, Niemeyer recomandă un strat de 2 cm grosime, din mortar de ciment cu rumeguș. Două învelișuri de sticlă solubilă sunt apoi aplicate, în timp ce ultimul strat este încă umed. În sfârșit, după ce este complet uscată, suprafața este ceruită. Autorul acestui studiu sugerează inversarea ordinii celor două straturi de jos. Pentru a întrerupe acțiunea capilară, ar trebui folosit pietrișul neprelucrat ca stratul cel mai de jos. Lutul împreună cu un conținut ridicat de argilă ar trebui să formeze următorul strat, acționând ca un obstacol împotriva apei și a vaporilor (o hidroizolație brută). Așa cum este descris mai jos în acest capitol, mortarul stabilizat de argilă poate fi înlocuit cu mortarul de ciment. În cadrul fermelor și hambarelor tradiționale germane, pardoselile din pământ erau construite într-un mod asemănător, drept urmare chiar și mașinile (fără anvelope pneumatice) puteau trece peste ele. În locul suprafeței din tencuială de ciment era folosită tencuială din lut care era alcătuită din lut, cu un conținut ridicat de argilă și cantități mari de nisip neprelucrat și pietriș fin. Aceasta era aplicată într-un strat de 7 cm grosime și compactată prin lovire. Pentru întărirea suprafeței, aceasta era presărată cu fulgi de Fe_3O_4 (fulgi produși prin forjarea fierului fierbinte), care erau introduși în interiorul suprafeței împreună cu sângele de vită, bila de vită sau cu gudronul.



14.15





14.16

14.15 Planșee tradiționale pentru camerele de zi (după Niemeyer, 1946)
14.16 Planșee moderne din pământ (Minke, 2000)
14.17 – 14.19 Realizarea unei pardoseli din pământ bătut cu maiul
14.20 Realizarea unei pardoseli din pământ bătut cu maiul, având un finisaj din blocuri de lemn

Pardoseli moderne din pământ

În 1984, cele două pardoseli diferite din lut, prezentate în *14.16*, au fost testate cu succes în cadrul LCC. Modelul A are o suprafață destul de solidă pentru a se putea păși pe ea și care este împărțită de un grilaj din lemn, în timp ce modelul B arată o pardoseală din lut pavată cu blocuri din lemn. Straturile suport sunt identice în ambele cazuri, constând dintr-un strat de rupere a capilarității, având 15 cm grosime și făcut din pietriș, urmat de un obstacol împotriva apei și a vaporilor, din plastic sau din hârtie

14.17

14.18

14.19

14.20

bituminoasă din pâslă şi acoperit cu un strat de 10 cm grosime, din argilă expandată, care acţionează ca izolaţie termică. Primul strat de lut argilos umed este situat deasupra acestor straturi inferioare şi bătut cu maiul (*14.17* şi *14.18*). În ambele cazuri, o reţea iniţială, din scânduri groase din lemn (10 x 10 cm), este aşezată pe deasupra acestuia.

În modelul B (*14.16*) această reţea este apoi umplută cu blocuri din lemn, aşezate cu mortar de argilă stabilizat cu o cantitate de 6%-8% (după volum) de ulei de in dublu fiert. Blocurile sunt plasate astfel încât feţele tăiate perpendicular pe fibră să rămână aparente (*14.20*).

În modelul A, un al doilea strat de mortar de argilă este aplicat şi bătut cu maiul, peste care se aşează o a doua reţea din şipci de lemn.

Spaţiile astfel create sunt apoi umplute cu un al treilea strat de mortar de argilă, stabilizat cu o cantitate de 6%-8% (după volum) de ulei de in dublu rafinat. Suprafaţa este după aceea netezită prin frecare cu multă presiune, folosind o mistrie din metal (*14.19*) până când suprafaţa devine strălucitoare.

Pentru că activitatea este una foarte intensă din punctul de vedere al muncii depuse, autorul acestui studiu a dezvoltat un model alternativ, care necesită mult mai puţină muncă (mai puţin de o cincime). Straturile care alcătuiesc această pardoseală pot fi văzute în *14.21*. Pentru a întrerupe actiunea capilară, cel mai de jos strat este format din pietriş brut. Un strat rezistent la umiditate, din hârtie bituminoasă din pâslă este aşezat peste acesta, urmat de stratul de bază cu izolaţie termică, compus din vată minerală. (Ultimul este necesar doar din cauza cerinţelor stringente legate de izolaţia termică conţinute în reglementările germane, mai recente; altfel, ar fi fost

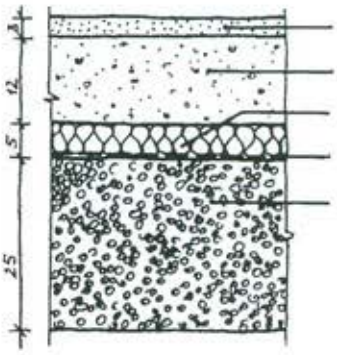
suficient doar lutul ușor). O cantitate de 12 cm grosime de lut mineral ușor este turnată deasupra acestui strat. Acesta asigură atât o izolație termică suficientă, cât și puterea structurală cerută.
Lutul ușor a fost pregătit într-o betonieră obișnuită și apoi turnat dintr-o roabă (*14.22*).
Pentru a reduce timpul de întărire a fost adăugată la amestec o cantitate de 4% de ciment. Pentru a obține o soliditate corespunzătoare a suprafeței, a fost aplicată în două straturi o cantitate de 3 cm grosime de mortar de argilă (conținând suficient nisip brut pentru a minimaliza inerența crăpăturilor de contracție). Pentru acest mortar a fost testată cu succes o cantitate de 6% (după greutatea uscată) din trei agenți de stabilizare, diferiți: primul, sticlă solubilă din sodă, a fost adăugat, după o subțiere de 1/1 cu apă; cel de-al doilea a fost uleiul de in dublu rafinat, iar al treilea cleiul din var și cazeină (făcut dintr-o parte de var hidraulic și 5 părți de brânză albă, fără grăsimi, amestecate viguros timp de două minute, fără adaos de apă și apoi lăsate să se așeze) cu adăugarea cretei, în proporție de 10%.
Amestecurile au fost aplicate la fel ca tencuielile cu conținut scăzut de umezeală, iar suprafața a fost netezită printr-o mișcare rotativă a mistriei. După o uscare completă, toate aceste suprafețe au fost ceruite.
Toate cele trei amestecuri au prezentat o soliditate a suprafeței foarte bună. Amestecul din ulei de in a avut dezavantajul mirosului său puternic și al unei perioade foarte lungi de uscare, dar a prezentat cea mai bună soliditate a suprafeței.

Șarpante umplute cu lut ușor

Acoperișurile folosite în mod obișnuit și acoperite cu țiglă pot fi umplute cu lut ușor pentru a crește izolația lor termică și fonică. Dacă spațiul normal creat între căpriori, de 16 cm înălțime, este umplut cu lut ușor cu o densitate de 600 kg/m^3, iar plafonul este făcut din scânduri de lemn, acoperișul capătă o valoare U de 0,8 W/m^{2}K (*14.24 A*). Cele trei soluții, B, C și D, prezintă posibilități de atingere a unor niveluri mai ridicate de izolație termică, așa cum este cerut în multe țări nordice.

14.22

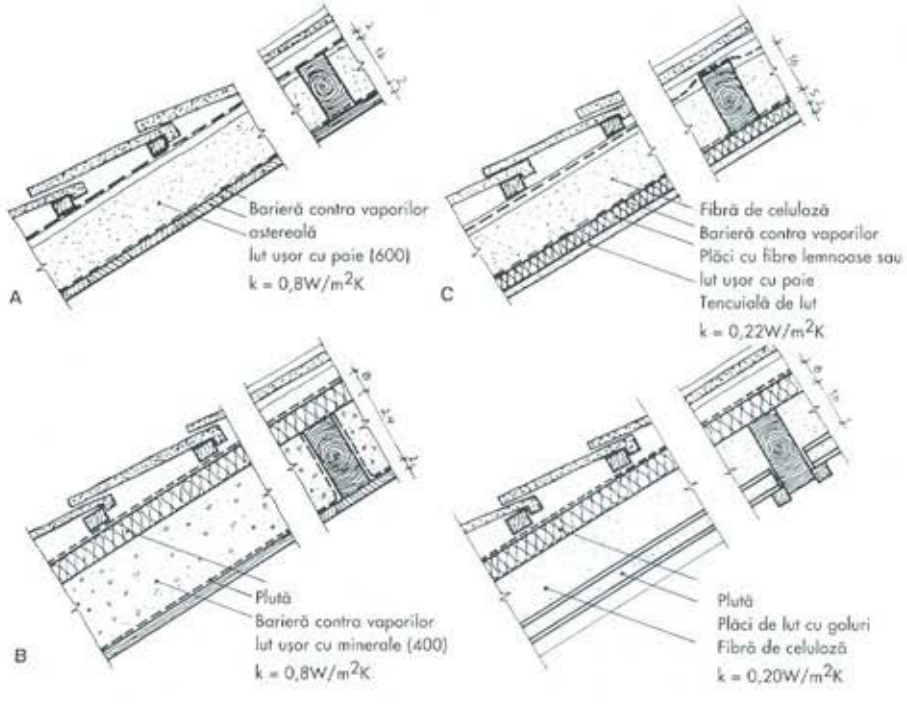
14.23



14.21

Acoperișuri de pământ

În zonele cu climă uscată acoperișurile plane, învelite cu pământ, au fost folosite de secole întregi în arhitectura tradițională rurală. Una dintre cele mai mari provocări, în construcția din țările în curs de dezvoltare, este aceea de a produce acoperișuri din lut reușite și rezistente la intemperiile



14.24

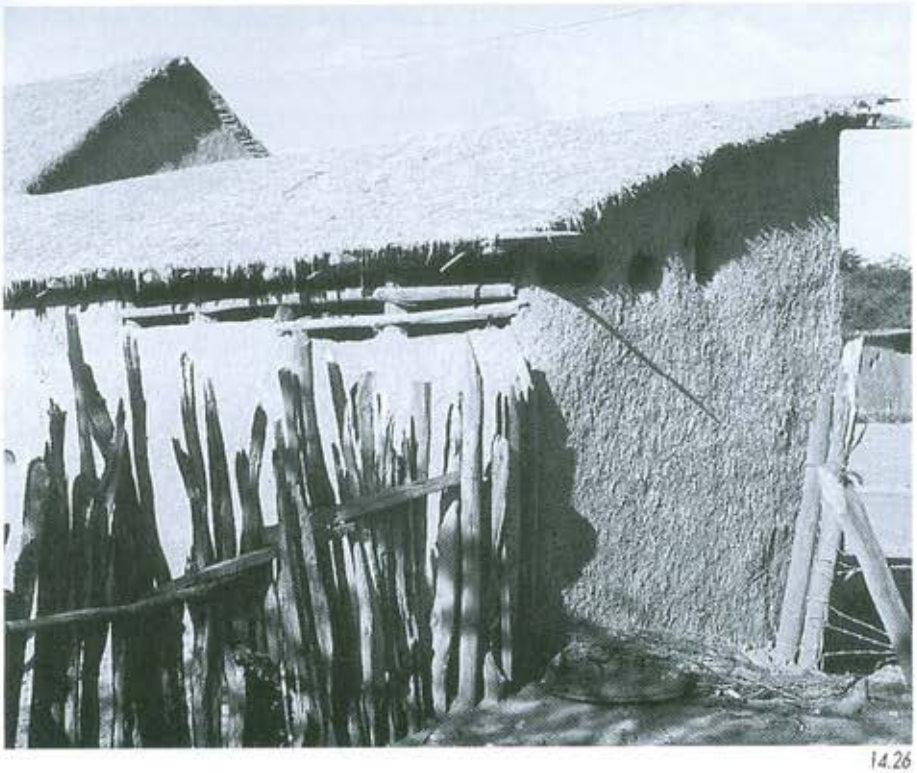
vremii, care, în zonele ploioase, s-ar putea dovedi durabile. Costul unei structuri de acoperiș tipice, în astfel de țări este de obicei de 25%-30% din costurile totale de construcție.
Șindrilele din lut (vezi capitolul 7, p.70) au fost răspândite în Germania, la începutul secolului 20 și a existat chiar și un standard declarat oficial, DIN 18957. În această secțiune sunt discutate câteva acoperișuri tradiționale, învelite cu lut și niște experimente recente cu învelișuri din lut.

Acoperișuri tradiționale de pământ

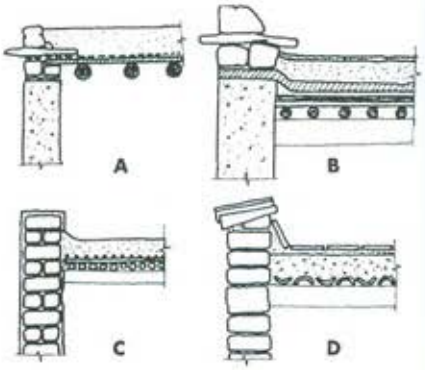
În multe zone cu climă subtropicală moderată și rece s-au construit de secole întregi acoperișuri tradiționale, plane și, uneori, chiar înclinate, din lut. Exemplele tipice sunt acoperișurile plane ale indienilor Pueblo, din New Mexic, SUA (vezi *6.3*) și cele ale tribului Dogon din Mali, din Africa de Vest (*14.25*).
Toate acoperișurile plane sunt similare din punct de vedere al construcției. Elementele structurale primare sunt formate din trei trunchiuri de bambus. Ramurile și nuielele sunt așezate peste acestea, pentru a alcătui o rețea foarte densă, peste care lutul cu paie poate fi bătut cu maiul sau tencuit. Ultimul strat neprelucrat constă din mai multe straturi din lut argilos, conținând, de obicei, o cantitate mare de nisip neprelucrat; uneori se adăugă păr, fibre sau balegă de vacă și se netezesc cu grijă.
În zonele unde sunt puține precipitații, crăpăturile de contracție nu constituie o problemă. Atunci când apa intră în aceste crăpături, lutul argilos se umflă și le astupă. Doar în anumite cazuri sunt folosite învelișurile suplimentare. În Anatolia, Turcia, pământul argilo-nisipos special, cu un conținut ridicat de sare, este adus din aluviunile lacurilor sărate pentru a astupa acoperișurile din lut.
Datorită proprietății higroscopice a sării, acest lut rămâne umed perioade lungi de timp și previne pătrunderea apei, în vreme ce se află în acest stadiu. Dacă în timpul uscării apar crăpăturile de contracție, pe parcursul contactului cu ploaia are loc umflarea, care astupă crăpăturile. Odată ce ploaia a îndepărtat prin spălare o parte din cantitatea de sare, reducând efectul de auto-astupare a stratului superior, neprelucrat, locuitorii pot fie să răspândească sare, fie să toarne apă sărată peste acesta, pentru a reactiva procesul de astupare (Dalokay, 1969).
La producerea acoperișurilor plane învelite cu lut ar trebui reținut că marginile acoperișurilor sunt predispuse la deteriorare mecanică, mai ales din cauza eroziunii vântului și a apei. Acest lucru poate fi prevenit prin soluții de tipul celor prezentate în *14.27*. Dacă urmează să se pășească pe suprafața acoperișului, atunci sunt recomandate plăcile de gresie (*14.27* D).
Imaginea *14.26* prezintă un acoperiș înclinat din Venezuela de Nord, alcătuit din straturi de bălegar de vacă stabilizat cu mortar de argilă cu paie, aplicat în mai

14.21 Secțiune verticală printr-o pardoseală din lut mineral ușor
14.22 – 14.23 Realizarea unei paradoseli din lut mineral ușor cu ajutorul unui amestec din lut, care este impermeabilă și rezistență la abraziune
14.24 Secțiune verticală prin acoperișurile înclinate, cu umplutură din lut ușor
14.25 Acoperișuri plane din pământ, dintr-un sat al tribului Dogon, Shanga, Mali

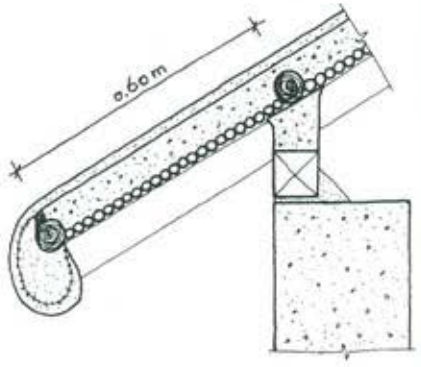
14.25



14.26



14.27



14.28

14.26 Acoperiș tradițional de lut, Nordul Venezuelei
14.27 Acoperiș tradițional plat de lut
14.28 Secțiune verticală prin acoperiș de lut, Pujili, Ecuador
14.29 Cupolă de pământ, sat lângă Aleppo, Siria
14.30 Cupolă pământ, Siestan, Afganistan

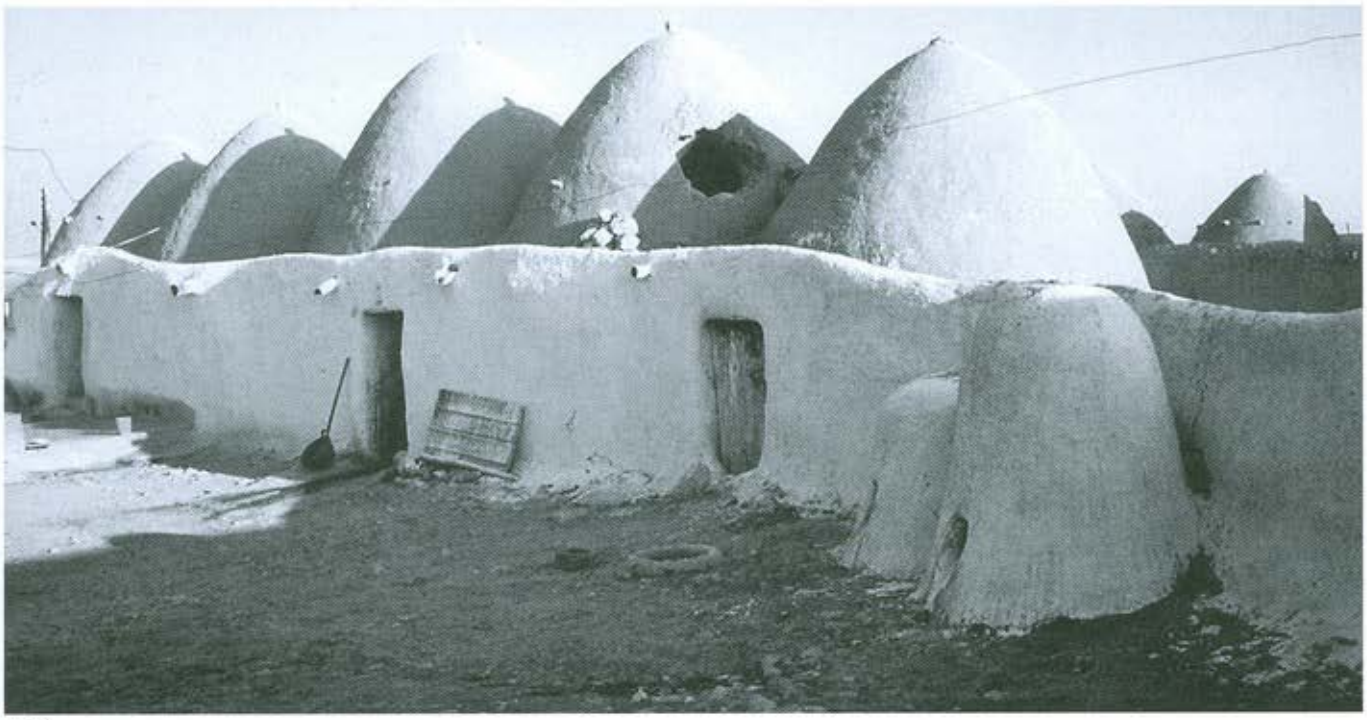
multe straturi (8-12 cm) peste o structură de lemn, făcută din ramuri și nuiele. După anotimpul ploios, stratul superior este, de obicei, refăcut.

Noi soluții

În zonele ploioase, acolo unde acoperișurile înclinate sunt ceva obișnuit, construcțiile tradiționale nu au acoperișuri din lut. În orice caz, experimente recente au dovedit că aditivii pot crește rezistența lutului la intemperiile vremii. Pe baza rezultatelor testelor obținute în cadrul LCC și descrise în capitolul 4, p.40, a fost construit un prototip de locuință cu costuri reduse în Pujili, Ecuador, de către grupul FUNHABIT, Quito și de către autor. Acoperișul era făcut dintr-o substructură din lemn construită din trei trunchiuri, din ramuri și din stuf. Acesta a fost acoperit de mai multe straturi de tencuială din lut, care aveau o grosime totală de 8 cm (*14.28*). Primul strat constă din lut argilos, subțiat cu piatră ponce (cu diametrul de 0-12 mm) și cu ulei uzat, foarte fluid (52 de părți de lut / 28 de părți de piatră ponce / o parte de ulei). Acest amestec, care a furnizat și izolație termică, a fost întins într-o consistență foarte uscată și compactat prin lovire. Stratul superior, gros de 2-3 cm, are următorul amestec: 72 de părți de lut, 36 de părți de piatră ponce (0-5 mm), 12 părți de balegă de vacă, 12 părți de balegă de măgar, 8,5 părți de ulei foarte fluid, 6 părți de fibre Sisal desfăcute (cu lungimea de 3-5 cm) și 1 parte de ulei de in dublu rafinat. După mai multe zile, după ce amestecul a devenit oarecum uscat, acesta a fost recompactat cu o mistrie de metal, folosind o presiune mare, până când suprafața s-a făcut strălucitoare.

Arcade și cupole din blocuri de pământ

Bolțile și cupolele care acoperă spațiile interioare și care sunt făcute din blocuri de pământ se regăsesc în principal în cadrul construcțiilor religioase din Europa. Totuși, în Sudul Europei, Asia și Africa, acestea au fost folosite și în cadrul reședințelor, birourilor și al clădirilor publice (vezi *1.1, 1.2, 14.29* și *14.30*).
Aceste structuri prezintă mai multe avantaje în zonele cu climă fierbinte și uscată, mai ales în zonele cu o mare variație a temperaturii zilnice. Date fiind inerția lor termică proprie și înălțimile lor considerabile, în mijlocul unui spațiu, acolo unde se adună aerul ușor și cald și poate fi lesne eliminat prin deschizături, spațiile boltite furnizează un control natural climatic mai bun decât cele cubice, standard. Acestea au perimetrele suprafețelor mai înguste,



14.29

decât camerele cubice cu același volum și, în consecință, un câștig de căldură mai scăzut.
Și în zonele cu climă rece și moderată, bolțile și cupolele prezintă mai multe avantaje. Cu cât perimetrul suprafeței este mai redus, în cazul aceluiași volum, cu atât pierderea de căldură este mai mică, deci energia de încălzire este redusă.
În toate zonele de climă, bolțile și cupolele necesită mai puțin material de construcție, pentru îngrădirea unui volum dat.
În toate țările în curs de dezvoltare, bolțile și cupolele sunt, de obicei, mai ieftine în comparație cu acoperișurile plane sau puțin înclinate. Prin observație s-a demonstrat că încăperile cu bolți și domuri produc un efect plăcut și calmant asupra celor care le locuiesc, în contrast cu încăperile care au plafoane plane.
Până de curând bolțile și cupolele din lut au fost construite doar cu chirpici – cu excepția a două cupole experimentale: cupolă din pământ bătut cu maiul, descris în capitolul 5, p.59 și cupolă *stranglehm*, construit în cadrul LCC, în 1985. În numeroase regiuni aride, acolo unde lemnul nu este disponibil ca material de construcție, au fost dezvoltate niște tehnici de construire a bolților și cupolelor din chirpici uscat la aer, care nu prezintă grinzi structurale și care sunt realizate chiar și fără cofraje. Aceste tehnici sunt descrise în următoarele secțiuni.

14.30

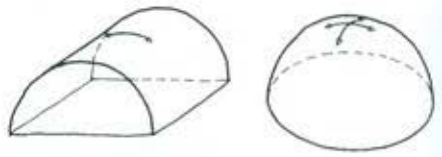
Despre geometria bolților și cupolelor

Bolțile și cupolele sunt elemente structurale bidimensionale, curbate, care au rolul de a acoperi spațiile interioare.
Structurile–cochilie cu aceeași geometrie prezintă comportamente structurale foarte diferite. Acestea sunt capabile să transfere momentele de încovoiere reazemelor lor. În orice caz, bolțile și cupolele din zidărie transferă doar sarcinile de compresie. Dacă

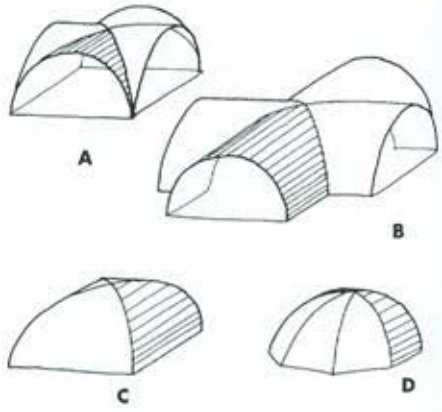
sunt curbate o singură dată acestea sunt denumite bolți (*14.31*, stânga); Dacă sunt curbate de două ori sunt denumite cupole (*14.31*, dreapta). Bolțile și cupolele pot fi construite dintr-o varietate de elemente geometrice de bază. Imaginea *14.32* prezintă două bolți în cruce (A, B) și două bolți cu dublă curbură (C, D); toate formele sunt compuse din părțile unei bolți cilindrice. Cu alte cuvinte, în cazul cupolelor care formează suprafețe de revoluție, ale căror forme provin din rotația unei curbe în jurul unui ax vertical (de obicei un arc circular) și care sunt situate deasupra unor camere pătrate, problema de geometrie constă în nevoia de a descoperi modalitatea de trecere de la geometria circulară a domului la cea pătrată a camerei. Imaginea *14.33* prezintă patru sisteme diferite pentru rezolvarea acestei probleme. Soluția A este o cupolă trunchiată, al cărui cerc de jos este circumscris pătratului, iar planurile verticale trunchiate se întâlnesc cu suprafața domului, pentru a forma arcuri. Soluția B se numește cupolă cu pandantive. Aici o cupolă sferică este așezată pe partea inferioară a unei cupole trunchiate. Suprafețele triunghiulare dublu curbate sunt denumite pandantive. Soluția C prezintă o cupolă cu trompe, al cărui cerc inferior este înscris în pătrat, iar suprafețele interconectate, denumite trompe, sunt compuse dintr-o serie de astfel de arce cu raze crescătoare. Această soluție mai poate fi descrisă și ca o cupolă trunchiată așezată pe pătratul înscris pe diagonală, având suprafețele astfel lăsate (triunghiulare în plan), sub formă de trompe.
Soluția D este un dom parțial compus din trompe cu dimensiuni reduse, al cărui cerc inferior este desenat în jurul celui mai mare octogon regulat care se înscrie în pătrat, formând planuri trunchiate pe patru dintre părți și trompe pe celelalte patru. Soluția E arată o modalitate total diferită de rezolvare a acestei probleme și poate fi denumită cupolă în formă de clopot. Aici avem o dublă curbură în continuă schimbare, începând de la margini cu o curbură (în formă de șa) anticlastică, (i.e., o curbură care este convexă într-o direcție și concavă în direcția perpendiculară) și continuând până în vârf cu o curbură (în formă de dom) sinclastică, (i.e., una care este curbată în mod similar în ambele direcții).

Comportamentul structural

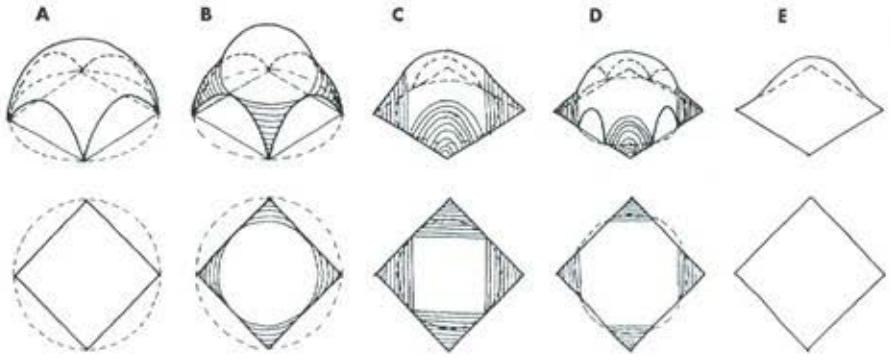
Din punct de vedere structural, bolțile și cupolele sunt suprafețe curbate care transferă aproape în exclusivitate forțele de compresie către suporturile lor.
Acestea sunt, de obicei, construite din cărămizi arse sau pietre plane, cu rosturi fixate perpendicular pe suprafața cupolei, la fel ca straturile modelului radial, precum în imaginea *14.34*, sus. Dacă straturile sunt fixate orizontal astfel încât blocurile de zidărie să creeze în interior proeminențe (cf. *14.34*, jos), atunci vorbim de o boltă sau o cupolă „falsă". În asemenea cazuri, întrucât fiecare strat este montat în consolă peste cel de dinainte, blocurile sunt expuse la forțele de îndoire. Un exemplu de cupolă falsă este arătat în modelul ilustrat în *14.35* și *14.36*. Problema principală în construirea bolților este cum se poate transfera forța exterioară axială de la bază către reazeme și fundații. Imaginea *14.37* arată cum pot fi separate forțele rezultante ale suportului în componente verticale și orizontale.
Cu cât forțele sunt conduse mai abrupt în interiorul fundației, cu atât sunt mai mici forțele orizontale și mai ușoară este construirea fundației. O metodă empirică este aceea care spune că forțele rezultate din presiunea bolții și încărcarea pereților trebuie să cadă în treimea mediană a reazemului și a tălpii fundației. Acest lucru înseamnă că excentricitatea nu trebuie să fie mai mare de 1/6 din lățime (*14.38*). Întrucât această considerație se poate referi la o fundație foarte mare și deci scumpă, ar putea fi indicată plănuirea unor măsuri structurale, suplimentare, precum cele arătate în *14.39*. În soluția A de exemplu, înclinația sarcinii rezultate este redusă cu ajutorul unor suprasarcini. O a doua soluție simplă, prezentată în B, constă din contraforți.



14.31



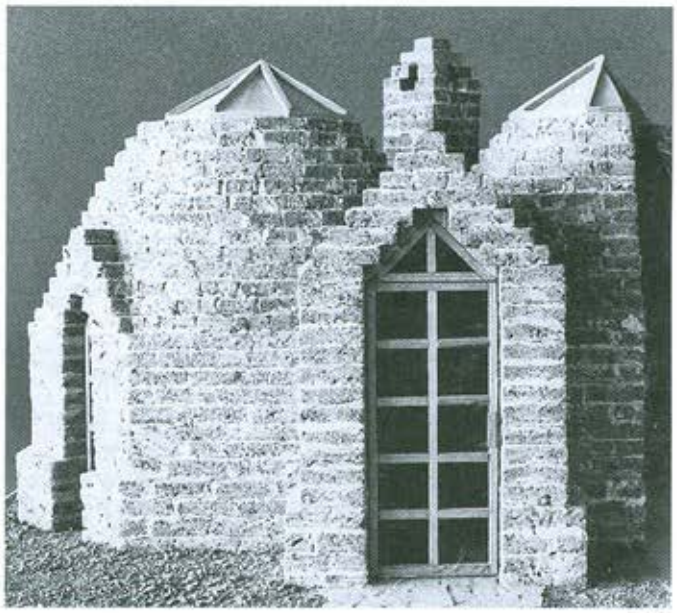
14.32



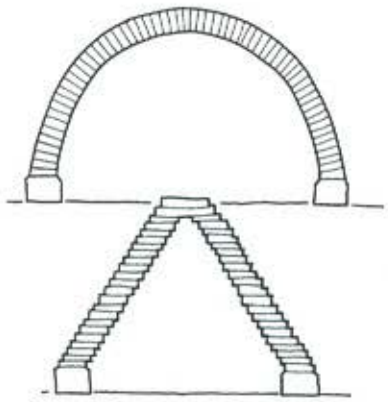
14.33

14.31 Boltă și cupolă
14.32 Forme create de bolți intersectate
14.33 Tipuri de cupole așezate deasupra unor planuri pătrate
14.34 Bolți „adevărate" și „false"
14.35 – 14.36 Model al unei clădiri cu bolți „false"
14.37 Separarea forțelor la suport
14.38 Deflecția forței rezultante în fundație

14.35



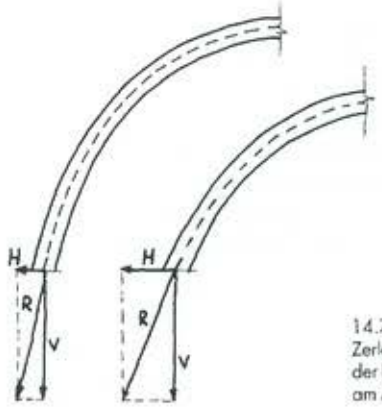
14.36



14.34

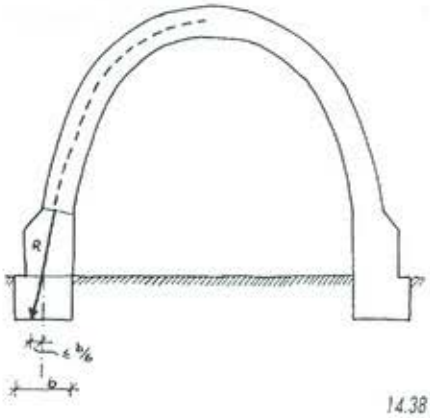
În acest caz, pentru a preveni tensiunea excesivă de încovoiere, spațierile dintre contraforți n-ar trebui să fie prea mari. O variantă structurală superioară este prezentată în C, cu contraforți legați prin arcuri. Soluția D arată transferul forței orizontale rezultată către elementele structurale rezistente la întindere la nivelul planșeului (plăcile de beton armat, de exemplu), care neutralizează forța astfel încât doar cele verticale sunt transferate fundației. Soluția E arată legături cu elemente solicitate la întindere, care acționează în același fel. Acestea sunt situate deasupra pereților pentru a susține bolta. În acest caz trebuie prevăzute grinzi de contur sau periferice, care pot susține forțele de încovoiere, care apar între capetele legăturilor. Soluțiile F și G prezintă două modalități diferite de deviere a presiunii cupolei centrale către bolțile laterale joase. Dacă doi cilindri identici descarcă într-o fundație, atunci componentele orizontale ale presiunii rezultate sunt neutralizate (vezi *14.40*, dreapta). Dacă, pe de altă parte, cilindrii au diferite forme, atunci doar o parte din această presiune orizontală va fi neutralizată (*14.40*, stânga).

Pentru că bolțile din chirpici pot suporta doar forțe de întindere foarte scăzute, este importantă proiectarea lor astfel încât, pe cât posibil, să apară doar forțele de compresie. Cu o boltă cilindrică în stare să suporte doar propria greutate, este cazul, doar dacă secțiunea sa transversală este o curbă inversată a lănțișorului definită ca forma inițială de către un lanț atârnând liber, care este expus doar la forța de tracțiune. Atunci când este inversată, această curbă reprezintă linia ideală de susținere (curba de presiune) pentru o boltă în care apar doar forțe de compresie sub greutatea proprie (*14.41*). Această linie poate fi

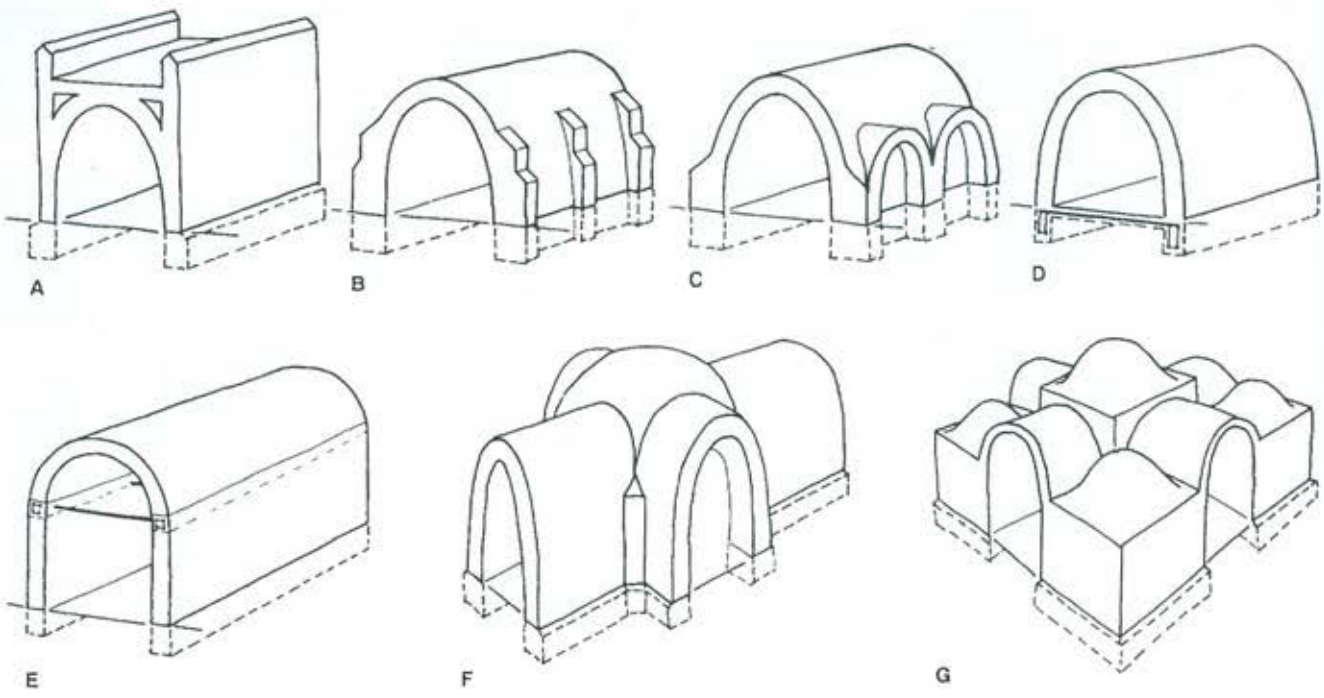


14.7
Zerleg
der Kr
am Au

14.37

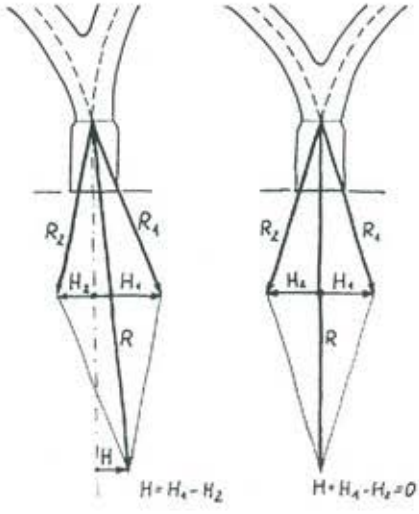


14.38

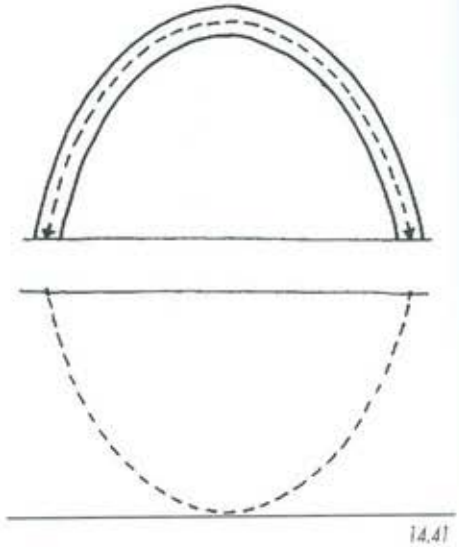


14.39

calculată prin formula catenară:
$y = a \cos (x/a)$ și poate fi definită prin poziția celor două puncte de susținere și a vârfului (vezi *14.42*). Într-o boltă semicirculară, linia de descărcare nu cade în centrul grosimii peretelui. Ar putea chiar să cadă în afara structurii, așa cum este arătat în *14.43* A. Acest lucru creează tensiuni de încovoiere și, de obicei, duce la eșec. Dacă grosimea bolții este destul de mare pentru a include curba de presiune în treimea mediană (*14.43* B), atunci acest pericol este evitat.
Secțiunea transversală ideală a unei cupole, sub greutate proprie, este aceea care creează doar forțe de compresie, care merg în jos (meridionale). Aceasta înseamnă că este o formă care nu creează nici forțe de întindere și nici forțe de compresie inelare. Dacă secțiunea transversală are forma unui lanț, atunci vor apărea forțele de compresie inelare. Acest lucru ar putea fi dezavantajos, dacă deschiderile trebuie să fie săpate în cupolă sau dacă este o cupolă cu deschidere mare.
Pentru executarea unei forme ideale de boltă se scoate o porțiune cum este arătat în *14.44*, stânga, care se desparte în segmente cu lungime egală.
Astfel, se creează segmente cu perimetru identic și, drept urmare, acestea pot fi substituite cu sarcini individuale de dimensiune egală, care acționează în centrul fiecărui segment. Oricum, în cazul unei cupole, dacă luăm o porțiune, așa cum este arătat în figura din dreapta, și o împărțim în segmente de lungime egală, lățimile și, în consecință, perimetrele vor fi în continuă scădere, de la bază până la vârf. Dacă aceste segmente sunt înlocuite cu sarcini individuale, atunci și sarcinile lor vor scădea astfel proporțional. Dacă forma ideală urmează să fie derivată dintr-un model, atunci sarcinile corespunzătoare pot fi adăugate unui lanț, care apoi alcătuiește această curbă ideală, așa cum se vede în *14.45*. Aici această curbă ideală este prezentată în contrast cu una a lănțișorului. În

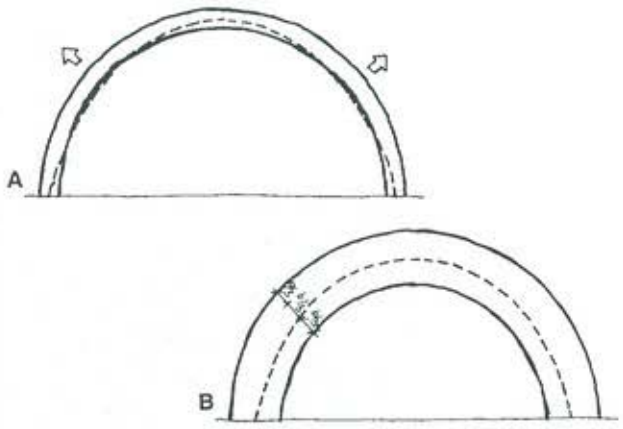


14.40

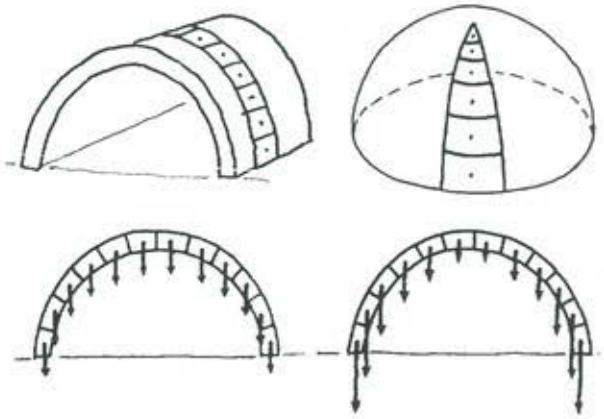


14.41

14.39 Posibilități de stabilizare structurală
14.40 Forțe orizontale
14.41 Lănțișor inversat
14.42 Lănțișoare de aceleași lungimi
14.43 Linii de descărcare
14.44 – 14.45 Simularea sarcinilor
14.46 Calcularea perimetrelor suprafeței



14.43



14.44

14.42

14.45

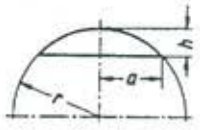
14.46, formulele sunt date pentru calcularea perimetrelor segmentelor unei sfere. În orice caz, întrucât forma ideală nu este sferică, segmentele acesteia au un perimetru puţin diferit de cel de la care am pornit. Drept urmare, această procedură trebuie să fie considerată o primă aproximare, care în practică este suficient de exactă pentru deschideri mai mici. O mai mare acurateţe poate fi obţinută prin repetiţii succesive, înlocuind actuala rază de schimbare a curburii aparţinând segmentelor măsurate din model şi reglând sarcinile, potrivit perimetrelor suprafeţei care aparţin segmentelor astfel calculate.

Prima ipoteză (că domul este o emisferă) nu poate fi utilizată dacă înălţimea nu este egală cu semitraveea. În acest caz, ar trebui pornit de la forma unei elipse a cărei axă se află sub baza cupolei. Această ipoteză de început se apropie deja de forma ideală, care apoi poate fi perfecţionată după model. O metodă mai exactă de obţinere a curbei ideale este prin metodele grafice, folosite în ingineria electrostatică. În cadrul LCC, aceste metode au fost folosite pentru a dezvolta un program de calculator. O parte din rezultatele pentru unsprezece proporţii diferite ale cupolei, de la h = 1,5 r până la h = 0,5 r (unde h este înălţimea, iar r este semitraveea) sunt trasate în *14.47*. În fiecare caz a fost luată în considerare o deschidere de 0,2 r. Imaginea *14.48* prezintă curba ideală în comparaţie cu o parabolă, cu un lănţişor şi un semicerc.

Curba ideală se află înăuntru, în secţiunea domului, aşa cum se întâmplă şi cu lănţişorul, unde sunt create forţele de compresie inelare. Dacă se află în exterior vor apărea forţele de întindere inelare, aşa cum se întâmplă cu partea inferioară a unui dom sferic. Forţele de întindere inelare duc de obicei la eşec. Forţele de compresie inelare nu creează, deseori, probleme, cu excepţia situaţiei când sunt întrerupte de nişte deschideri mari.

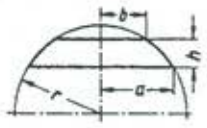
Tabelul *14.51* oferă coordonatele liniei ideale de susţinere pentru şapte proporţii diferite ale domului, de la h = 0,8 r până la h = 1,4 r (unde h este înălţimea, iar r este semitraveea), fără a se lua în considerare nici un fel de deschideri ale vârfului.

Pentru a ţine seama de sarcinile asimetrice, care ar putea apărea în practică din cauza vântului, a întreţinerii etc. şi pentru



Bolta $M = 2\pi rh$
$= \pi(a^2 + h^2)$

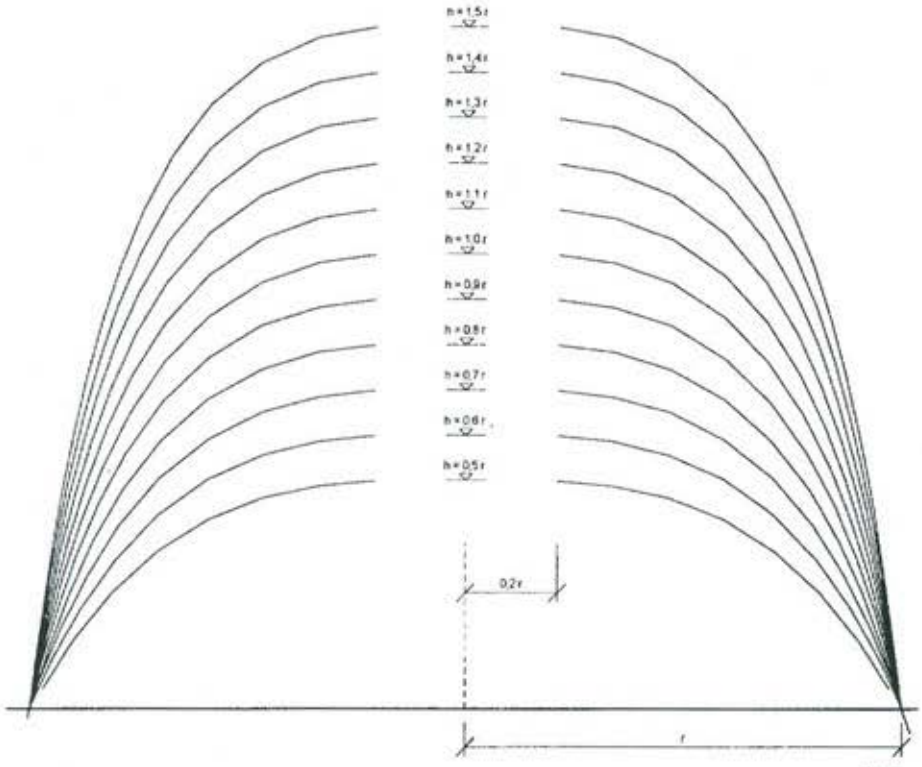
Kugelschicht



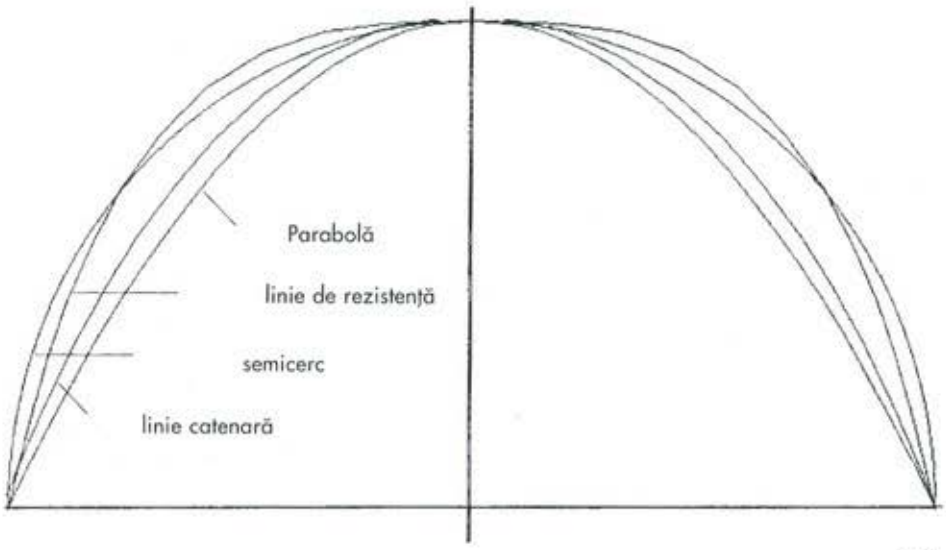
$M = 2\pi rh$

$$r = \sqrt{a^2 + \left(\frac{a^2 - b^2 - h^2}{2h}\right)^2}$$

14.46



14.47



14.48

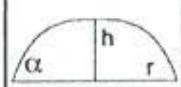
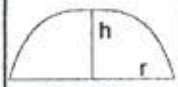
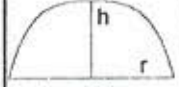
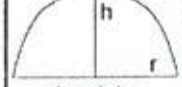
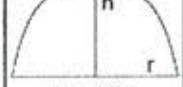
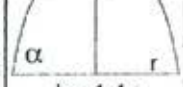
14.49

14.47 Secțiuni transversale optimizate, cu diferite proporții h:r
14.48 Secțiuni transversale
14.49 Boltă nubiană

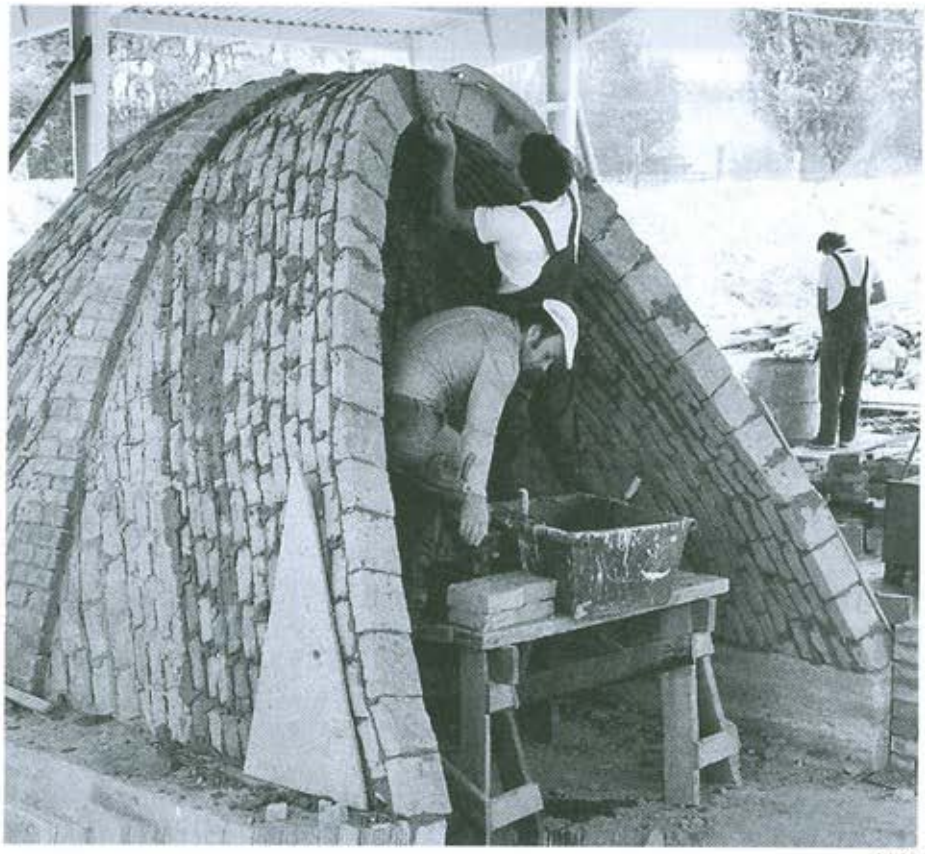
garantarea faptului că nu vor apărea nici un fel de forțe de întindere inelare, este mai bine ca secțiunea să fie păstrată în interiorul curbei ideale, mai ales în partea superioară.

Bolți nubiene

Prin tehnica bolții nubiene, folosită de secole în Egiptul Superior, bolțile pot fi construite fără nici un fel de cofraj prin utilizarea arcelor înclinate făcute din chirpici. Imaginea *14.49* arată o astfel de boltă, veche de 3200 de ani, care este situată în împrejurimile templului lui Ramses II, lângă Luxor. Astfel de bolți sunt construite în mod obișnuit, din chirpici, măsurând 15 cm în lățime, 25 cm în lungime și doar 5-6 cm în grosime. Aceasta înseamnă că greutatea fiecărei cărămizi, raportată la o unitate de perimetru de rosturi de mortar, este foarte scăzută, ceea ce previne alunecarea din timpul construcției, a chirpiciului așezat în poziții înclinate. Gradul de înclinare al arcadelor este un factor decisiv în procesul de construcție. Acesta ar trebui să fie între 65'-70' cu planul orizontal, așa cum au arătat testele, dacă arcadele sunt construite la un unghi mai mic partea inferioară a bolții ar putea

Nr.	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
1	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
2	0,0452	0,9854	0,0454	0,9875	0,0479	0,9885	0,0470	0,9902	0,0422	0,9912	0,0494	0,9918	0,0469	0,9929
3	0,0973	0,9674	0,0982	0,9720	0,1013	0,9750	0,1007	0,9783	0,1016	0,9807	0,1036	0,9823	0,1013	0,9844
4	0,1489	0,9483	0,1508	0,9556	0,1544	0,9608	0,1543	0,9658	0,1555	0,9696	0,1578	0,9724	0,1556	0,9755
5	0,2001	0,9279	0,2030	0,9381	0,2073	0,9456	0,2077	0,9526	0,2093	0,9579	0,2118	0,9620	0,2098	0,9662
6	0,2506	0,9061	0,2548	0,9195	0,2600	0,9295	0,2610	0,9386	0,2629	0,9456	0,2657	0,9511	0,2640	0,9565
7	0,3005	0,8827	0,3061	0,8996	0,3123	0,9124	0,3139	0,9237	0,3164	0,9326	0,3195	0,9396	0,3180	0,9462
8	0,3495	0,8575	0,3569	0,8782	0,3642	0,8940	0,3667	0,9079	0,3697	0,9188	0,3732	0,9274	0,3720	0,9354
9	0,3974	0,8303	0,4069	0,8552	0,4156	0,8744	0,4191	0,8911	0,4227	0,9041	0,4267	0,9145	0,4258	0,9241
10	0,4441	0,8011	0,4562	0,8305	0,4665	0,8533	0,4711	0,8730	0,4755	0,8885	0,4800	0,9008	0,4795	0,9121
11	0,4893	0,7695	0,5043	0,8038	0,5167	0,8306	0,5226	0,8536	0,5280	0,8718	0,5331	0,8863	0,5331	0,8993
12	0,5327	0,7355	0,5513	0,7749	0,5660	0,8060	0,5736	0,8328	0,5800	0,8540	0,5859	0,8708	0,5864	0,8858
13	0,5738	0,6987	0,5967	0,7436	0,6143	0,7795	0,6239	0,8103	0,6316	0,8347	0,6384	0,8542	0,6396	0,8714
14	0,6124	0,6592	0,6402	0,7097	0,6613	0,7507	0,6733	0,7860	0,6827	0,8140	0,6905	0,8364	0,6924	0,8561
15	0,6479	0,6170	0,6815	0,6731	0,7067	0,7194	0,7217	0,7596	0,7330	0,7917	0,7422	0,8173	0,7450	0,8397
16	0,6799	0,5721	0,7200	0,6337	0,7502	0,6855	0,7688	0,7309	0,7825	0,7674	0,7932	0,7966	0,7971	0,8220
17	0,7081	0,5246	0,7554	0,5913	0,7913	0,6487	0,8143	0,6998	0,8309	0,7411	0,8436	0,7743	0,8488	0,8030
18	0,7322	0,4750	0,7872	0,5462	0,8296	0,6090	0,8578	0,6658	0,8780	0,7124	0,8930	0,7500	0,8999	0,7825
19	0,7522	0,4235	0,8149	0,4984	0,8646	0,5663	0,8988	0,6290	0,9234	0,6811	0,9414	0,7235	0,9503	0,7602
20	0,7680	0,3707	0,8384	0,4485	0,8957	0,5207	0,9369	0,5891	0,9667	0,6470	0,9883	0,6947	0,9998	0,7360
21	0,7801	0,3168	0,8576	0,3967	0,9227	0,4725	0,9716	0,5461	1,0076	0,6099	1,0336	0,6632	1,0482	0,7096
22	0,7887	0,2624	0,8725	0,3436	0,9452	0,4221	1,0023	0,5002	1,0453	0,5696	1,0767	0,6287	1,0951	0,6807
23	0,7944	0,2076	0,8836	0,2896	0,9633	0,3700	1,0286	0,4517	1,0795	0,5262	1,1172	0,5912	1,1403	0,6491
24	0,7978	0,1526	0,8912	0,2350	0,9771	0,3165	1,0504	0,4009	1,1095	0,4799	1,1544	0,5505	1,1830	0,6145
25	0,7994	0,0975	0,8961	0,1801	0,9870	0,2623	1,0675	0,3485	1,1350	0,4309	1,1879	0,5065	1,2236	0,5768
26	0,8000	0,0425	0,8987	0,1251	0,9936	0,2075	1,0804	0,2948	1,1557	0,3798	1,2170	0,4596	1,2606	0,5358
27	0,8000	0,0000	0,8998	0,0700	0,9974	0,1526	1,0894	0,2404	1,1719	0,3270	1,2415	0,4101	1,2933	0,4915
28			0,9000	0,0000	0,9993	0,0975	1,0951	0,1856	1,1836	0,2731	1,2611	0,3585	1,3222	0,4443
29					0,9999	0,0425	1,0983	0,1306	1,1916	0,2185	1,2761	0,3054	1,3459	0,3944
30					1,0000	0,0000	1,0997	0,0755	1,1965	0,1636	1,2867	0,2513	1,3648	0,3425
31							1,1000	0,0205	1,1990	0,1086	1,2936	0,1966	1,3789	0,2892
32							1,1000	0,0000	1,1999	0,0535	1,2976	0,1416	1,3887	0,2349
33									1,2000	0,0000	1,2995	0,0865	1,3949	0,1801
34											1,3000	0,0315	1,3983	0,1251
35											1,3000	0,0000	1,3997	0,0700
36													1,4000	0,0150
37													1,4000	0,0000
														
	h = 0,8 r		h = 0,9 r		h = 1,0 r		h = 1,1 r		h = 1,2 r		h = 1,3 r		h = 1,4 r	
α	72,6	Grad	75,0	Grad	76,9	Grad	78,5	Grad	79,7	Grad	80,7	Grad	81,6	Grad
A	5,3374	r^2	5,7789	r^2	6,2195	r^2	6,6941	r^2	7,1685	r^2	7,6426	r^2	8,1514	r^2
V	16,1064	r^3	18,2911	r^3	20,4262	r^3	22,6921	r^3	24,9307	r^3	27,1455	r^3	29,5145	r^3

14.51



14.52

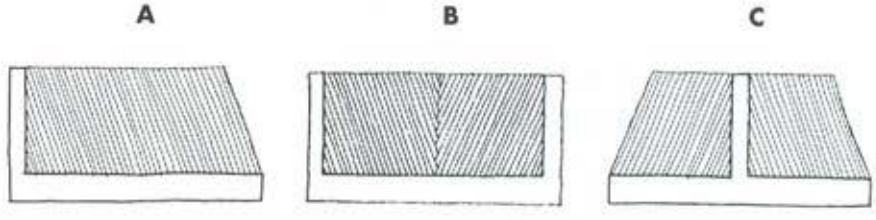
14.53

14.50 Bolți nubiene cu pereți de sprijin și arcadă de sprijin (profil longitudinal)
14.51 Coordonate ale unor domuri optimizate din punct de vedere structural
14.52 – 14.53 Construcție a unei bolți nubiene, cu arcadă de sprijin

să se prăbușească în timpul construcției, pe când dacă unghiul este mai mare, chirpiciul ar putea aluneca din vârf.
Bolțile nubiene au nevoie de unul sau doi pereți verticali, pe care să se sprijine arcadele înclinate (*14.50 A* și B). Este, de asemenea, posibilă sprijinirea arcadelor de o „arcadă centrală de susținere", care în mod normal are secțiunea unei bolți și trebuie să fie prevăzută cu un cofraj (*14.50 C* și *15.52*). Secțiunea transversală a bolții nubiene, care este în principal încărcată cu propria ei greutate, ar trebui să aibă forma unui lănțișor inversat, astfel încât să conțină doar tensiuni de compresie.
În cadrul LCC, această tehnică tradițională a fost perfecționată în două moduri: primul, în locul folosirii formatelor rectangulare, a fost utilizat un bloc pătrat măsurând 20 x 20 cm, cu 6 cm grosime, pentru partea inferioară a bolții, iar versiunile conice ale acestor blocuri au fost folosite în partea superioară a bolții, cu partea inferioară scurtată cu 1,5 cm. Aceasta a redus timpul de muncă și cantitatea de mortar necesară. S-a descoperit că prin folosirea unei compoziții optime de mortar, cu o putere de întărire ridicată, era, de asemenea, posibilă utilizarea chirpiciului cu grosimi de până la 10 cm. Aceasta duce la viitoare economii de mortar și timp.
Al doilea mod de perfecționare – forma bolții era controlată în timpul construcției prin întinderea unei corzi de la un perete de susținere la cel opus (sau la eșafodajul corespunzător). Este esențial ca această coardă să treacă la un capăt printr-o lucarnă și să fie ținută întinsă de o greutate. Atunci când este deformată de o presiune auxiliară, coarda va fi imediat readusă în poziția corectă de către greutatea în mișcare.
La construirea arcadelor înclinate este recomandabil ca blocurile care formează arcada să fie unite prin menținerea lor în contact cu muchia interioară, având puțin mortar între acestea și fiind împănate, dacă este necesar, cu o așchie de piatră pe muchia exterioară, pentru ca efectul boltirii să se manifeste, chiar înainte ca mortarul să se usuce (*14.53*).

Cupole afgane și persane

În Afganistan, de secole întregi a fost folosită o tehnică de construire a cupolelor fără cofraj. Prin această tehnică sunt realizate cupole plane în formă de clopot, pentru acoperirea camerelor pătrate prin construirea arcadelor înclinate, care sunt fixate la unghiuri de 30°, față de orizontală. Imaginile *14.54, 14.55* și *14.56* prezintă procesul de construcție al unui dom (deasupra unei camere de 4 x 4 m), care poate fi construit într-o jumătate de zi de cinci până la șase oameni. Prin această



14.50

14.54

14.55

14.56

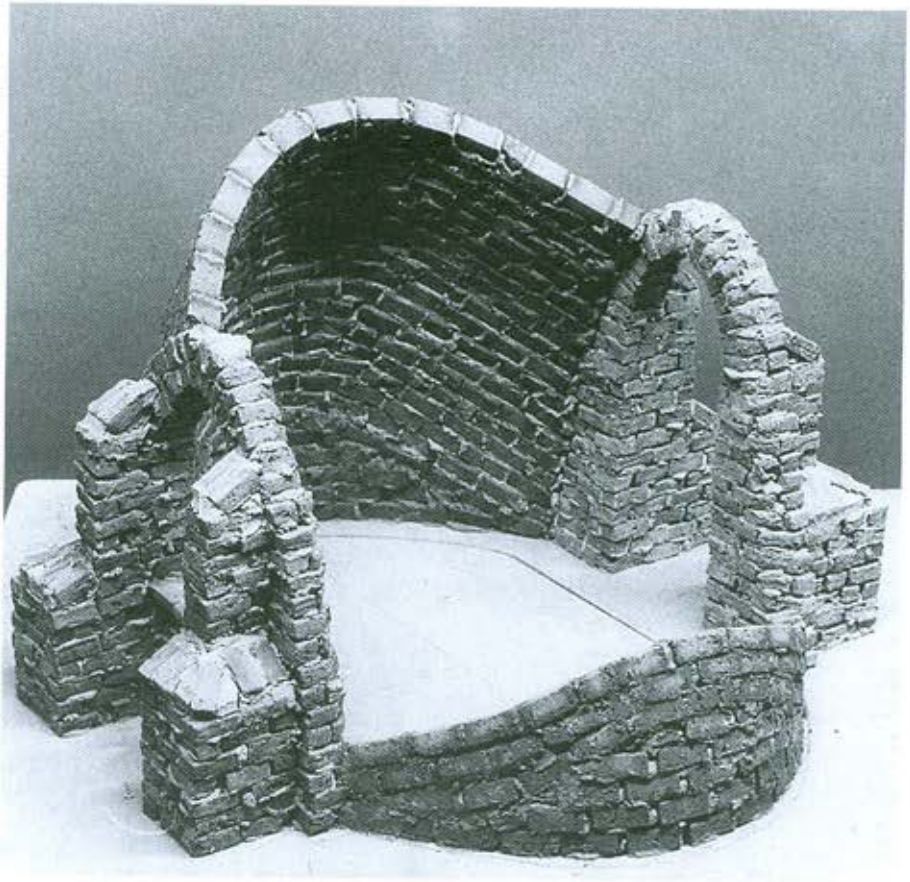
14.54 – 14.56
Construcția unei cupole afgane
14.57 – 14.58 Model al unei forme de cupole, provenit din tehnicile nubiene și afgane (LCC)

tehnică, blocurile de chirpici care formează arcada ar trebui să se atingă în muchiile lor inferioare și penele ar trebui să fie introduse în găurile superioare (vezi *14.56*).
Întrucât această metodă permite efectului boltirii să se producă înainte ca mortarul să se usuce, muncitorii pot chiar să se așeze pe cupolă în timpul construcției.
În cadrul LCC au fost construite modele diferite, pentru a arăta că, prin această tehnică poate fi acoperită o mare varietate de forme arhitecturale și că aceasta poate fi combinată, de asemenea, cu tehnica cupolei nubiene (*14.57 – 14.60*).
În *14.61* este prezentată o variație a tehnicii cupolei afgane. În timpurile de demult, aceasta a fost folosită des în Persia și drept urmare a fost denumită tehnica cupolei persane. Aici, arcele înclinate sunt începute din toate cele patru colțuri ale bazei. În acest exemplu, la zenit au fost patru deschideri care servesc pentru aerisire („capcane de vânt").

Cupole nubiene

Tehnica cupolei nubiene a fost cunoscută în Egiptul Superior de mii de ani. În cadrul acestei tehnici straturi circulare de chirpici sunt așezate folosind un dispozitiv de ghidare mobil (*14.62*).
Prin această tehnică blocurile sunt răsucite pe muchie. Prin acest lucru se evită alunecarea blocurilor proaspăt așezate. În orice caz, acest lucru necesită ca blocurile în formă de pană, speciale, să fie folosite în mod periodic (*14.63*). Din cauza timpului de lucru cerut, cu durată mare, majoritatea cupolelor au fost construite fără răsucirea blocurilor, ceea ce înseamnă așezarea acestora în formă de stea.
Principalul dezavantaj al tehnicii cupolei nubiene este acela că pot fi produse doar cupole sferice. Așa cum a fost explicat în acest capitol, p.116, în cadrul cupolelor sferice, forțele de întindere inelare se produc

14.58



14.57

în părțile de jos. De aceea, la acoperirea deschiderilor mai mari trebuie aplicate suplimentar benzi de oțel sau centuri inelare din beton armat sau alte elemente de întărire. Dacă acest lucru nu se ia în considerație, domurile ar putea să se prăbușească, așa cum s-a întâmplat în practică.
Grupul numit „Atelierul de Dezvoltare" din Lauserte, Franța, a construit numeroase reședințe, birouri și clădiri publice în Niger folosind o versiune modificată a acestei tehnici, prezentate în *14.64*. Aici, în locul dispozitivului de ghidare rotativ montat în centru, a fost utilizat un dispozitiv de ghidare, rotativ, excentric. Prin acesta forma generată poate fi în așa fel încât, să fie evitate forțele de întindere inelare din partea inferioară. În orice caz, forțele de compresie inelare astfel produse pot cauza probleme dacă sunt făcute deschideri mai mari pentru uși sau ferestre.

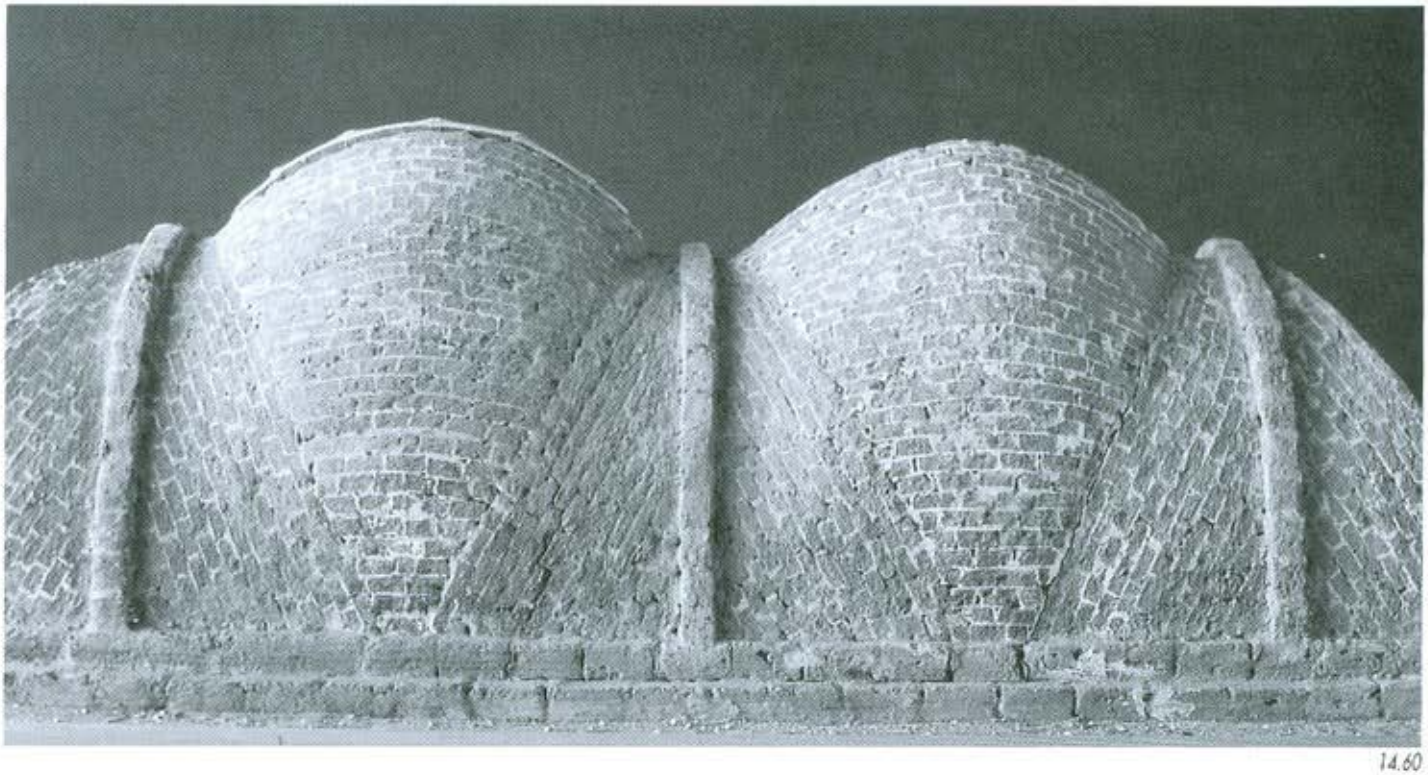
14.59

14.61

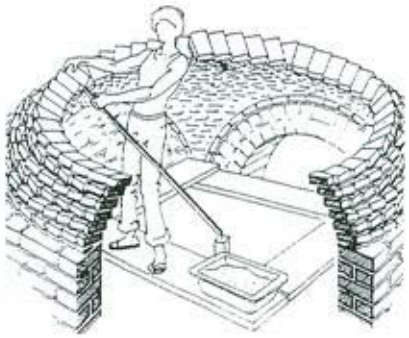
Cupole optimizate din punct de vedere structural

Pentru evitarea dezavantajelor tehnologiei cupolei nubiene, în cadrul LCC a fost dezvoltată o nouă tehnică de realizare a cupolelor folosind un dispozitiv de ghidare rotativ. Prin această tehnică geometria structurală optimă a cupolei poate fi obținută fără cofraj. Această geometrie evită toate forțele de întindere inelare, la fel ca și forțele de compresie inelare. Originea acestei forme este descrisă la p.116 a acestui capitol.
Dispozitivul de ghidare rotativ are un capăt dreptunghiular, în care sunt puse blocurile. Acest unghi poate fi mișcat pe o secțiune T din metal, curbată și îndoită în formă. Această secțiune T este fixată de un braț rotativ, care este fixat la rândul său, într-o poziție verticală. Imaginile *14.65* și *14.68*

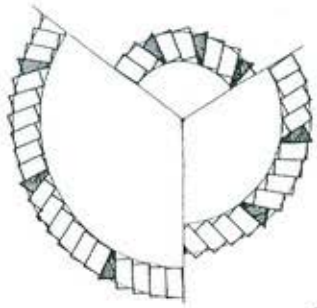
14.59 – 14.60 Modele ale unor forme diferite de cupole, provenite din tehnicile nubiene și afgane (LCC)
14.61 Cupolă persană cu capcane pentru vânt
14.62 – 14.63 Cupolă nubiană (CRATerre, 1979)
14.64 Modificarea unei cupole nubiene, cu un dispozitiv de ghidare excentric
14.65 – 14.68 Cupolă prototip (LCC)



14.60

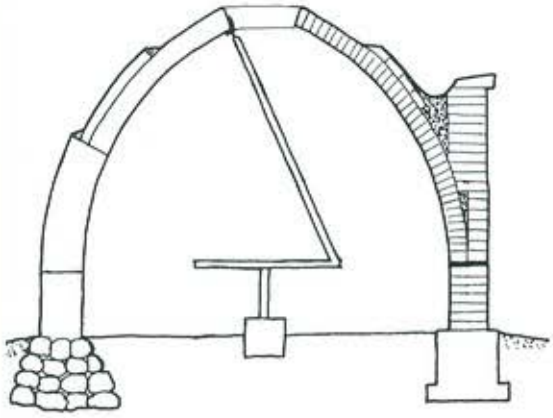


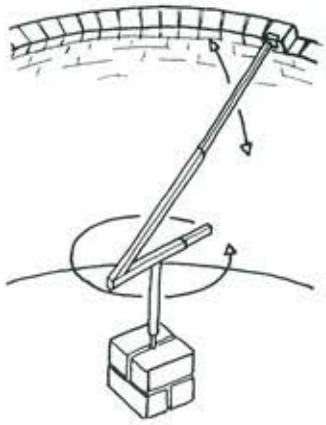
14.62



14.63

arată aplicarea acestei tehnici asupra unei cupole cu o deschidere liberă de 7 m și 6 m de înălțime liberă, care a fost construit în cadrul Universității din Kassel, Germania, în 1992. Vârful este acoperit cu un luminator piramidal cu 16 fețe. Grosimea peretelui domului este de doar 20 cm, iar secțiunea transversală a fost derivată prin folosirea unui program de calculator pentru a obține forma optimă, fără forțe inelare, așa cum este descris în p.116 a acestui capitol. Pentru prevenirea alunecării blocurilor de pe straturile superioare în timpul construcției, straturile nu sunt chiar perpendiculare pe suprafața cupolei, ci sunt oarecum puțin înclinate, astfel încât stratul superior să aibă o înclinație cu 20 mai mică și să poată fi observat un efect de prag parțial.
În plus, această tehnică are avantajul de a nu se produce nici un efect de concentrare al sunetului (vezi *14.68*). Blocurile folosite au fost subțiate și extrudate printr-un ajutaj special, într-o fabrică mecanică de cărămizi.





14.64

Cupole și bolți pe cofraj

Este foarte solicitantă construirea cofrajelor pentru cupole din punctul de vedere al muncii și al materialelor, motiv pentru care

14.66

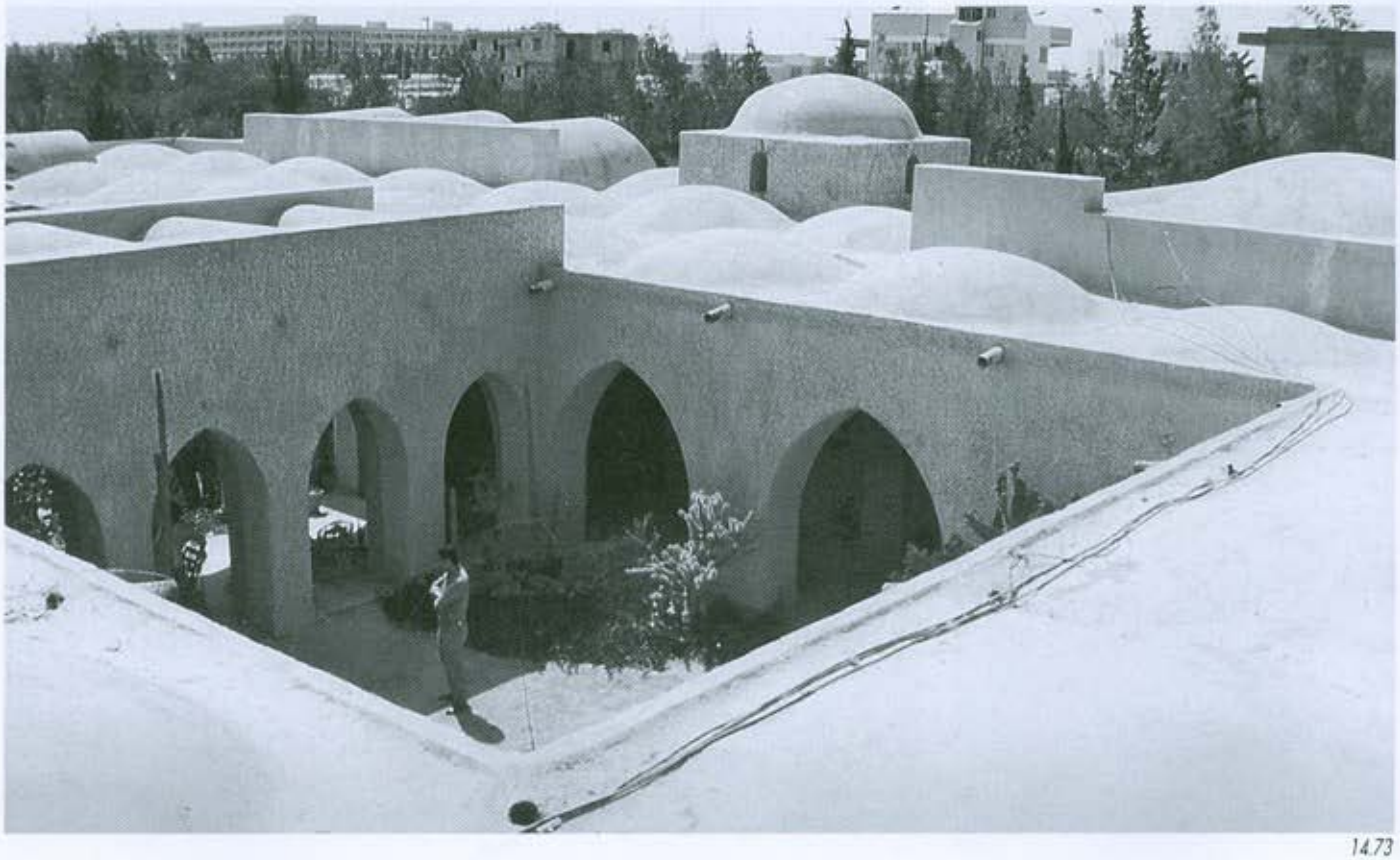
14.65

14.67

14.68

aproape toate tehnicile de construire ale cupolelor istorice au evitat acest lucru. O excepție este cupola catalonianã de mică adâncime (uneori denumită în India drept „scoica funiculară"), care în esență, este o cupolă în formă de clopot care poate acoperi baze triunghiulare, pătrate, dreptunghiulare sau de alte forme. Pentru cofraj au fost folosite scândurile de lemn, tablele de oțel și elementele din poliester întărite cu fibră

14.72



14.73

14.74

14.75

14.69

14.70

14.71

14.69 Arc suport cu un cofraj minimizat
14.70 Cupola, în care se folosește nisip umed drept cofraj
14.71 Boltă terminată dintr-o reședință privată din Kassel, Germania
14.72 – 14.73 Institutul de Cercetare al Deșertului, Sadat City, Egipt
14.74 – 14.75 Centrul Wissa Wasef, Cairo, Egipt

de sticlă. În orice caz, este mult mai ușor să faci un cofraj cu nisip umed, așa cum este arătat în *14.70*. La construirea bolților este mult mai ușor de realizat un cofraj, pentru că acestea nu au decât suprafețe curbate, separate. În plus, doar o bucată mică de cofraj poate fi utilizată și schimbată pe măsură ce continuă construcția bolții. Această tehnică este folosită în mod obișnuit pentru construirea bolților suport (vezi *14.14*). Boltă suport prezentată în *14.69* a fost construită pe un cofraj rar, ridicat pe șipci subțiri poziționate de-desubtul rosturilor blocurilor din pământ. Aceste blocuri au fost pregătite fără mortar. Rosturile au fost mai târziu umezite, iar apoi mortarul a fost completat de deasupra.

Arderea cupolelor din pământ

Arhitectul persan Nader Khalili a construit numeroase cupole din pământ în Iran și în SUA, pe care a încercat să le întărească mai târziu, arzându-le din interior. În timp ce combinația celor patru elemente folosite să creeze aceste spații, pământul, apa, aerul și focul le putea împrumuta o caracteristică mistică, ele prezentau numeroase dezavantaje în ceea ce privește climatul și mediul exterior. Arderea buștenilor, a ramurilor și a nuielelor creează poluare și consumă mari cantități de energie. În plus, procesul de ardere nu poate fi controlat în totalitate și din cauza asta nu este unul optim. Încălzirea inegală a blocurilor poate produce crăpături, reducând stabilitatea structurală. De asemenea, majoritatea porilor din blocuri sunt astupați prin ardere, reducându-li-se drastic capacitatea de absorbție și de difuzie a umidității (vezi capitolul 1, p.14). În orice caz, acest lucru înseamnă eșecul în exploatarea principalului avantaj al lutului, ca material de construcție.

Perete pentru înmagazinare termică în grădinile de iarnă

Pentru a intensifica acumularea de căldură și efectul de stabilizare al umidității în cazul unei grădini de iarnă, cu o suprafață a pardoselii de 20 m^2, care constituie o parte a unei reședințe din Kassel, Germania, a fost construit un perete de depozitare făcut din pâini umede de lut maleabil (*14.76* și *14.77*).
Pâinile, măsurând 20 x 14 cm, au fost modelate cu mâna și stivuite fără mortar sau rosturi umplute, în felul acesta dublându-se efectiv suprafața lutului, care este eficient în acumularea căldurii și în absorbția și cedarea umidității. Suprafața peretelui de deasupra deschiderii plane, *14.76*, a fost acoperită cu sfere aruncate de lut, așa cum este descris în capitolul 11, p.95.

Lutul în baie

Ipoteză că o baie finisată cu lut este mai igienică decât o baie din plăci de faianță îi uimește pe mulți. După mulți ani, ambele experiențe cu săli de baie având pereții din lut și investigațiile științifice cu privire la comportamentul de absorbție și de difuzie

14.76

14.77

14.76 Perete de acumulare a căldurii, dintr-o grădină de iarnă
14.77 Așezarea pâinilor din lut

al lutului au demonstrat, în orice caz, această ipoteză.
A fost observat faptul că oglinzile dintr-o sală de baie, care este acoperită cu plăci de faianță până sus în tavan, se aburesc după un duș fierbinte, obișnuit. Cu ușile și ferestrele închise, oglinda rămâne aburită o perioadă de 30-60 de minute după duș. Prin contrast, într-o sală de baie cu pereți din lut, oglinda se curăță, în condiții similare, în doar 3-6 minute.
Acest lucru se întâmplă pentru că pereții din lut absorb umiditatea din cameră atunci când umiditatea lor relativă este mai mare de aproximativ 50% și o eliberează mai târziu, atunci când umiditatea aerului scade sub circa 50% (vezi și capitolul 1, p.14). Întrucât umiditatea din sălile de baie, cu pereți din lut scade repede, nu pot apărea culturi de ciuperci, în timp ce în sălile de baie cu plăci de faianță, umiditatea rămâne ridicată pentru o perioadă mai îndelungată, din cauza suprafețelor astupate, permițând dezvoltarea ciupercilor în rosturile plăcilor, mai ales în rosturile etanșate cu material de silicon.
În timp ce aldehida formică din amestecul rostului previne acest lucru, ar trebui menționat faptul că această substanță chimică este cancerigenă.
Chiar și peretele din spatele dușului poate fi din lut, atâta timp cât perdeaua dușului se poate desfășura pentru a preveni stropirea acestuia. Imaginea *14.78* prezintă un „tapet din lut", pus peste o cadă de baie. Materialul vechi al perdelei a fost înmuiat în noroi de lut argilos și lovit cu palmele de perete și apoi modelat cu degetele. Această suprafață poate fi ușor făcută să fie rezistentă la apă, prin învelirea acesteia cu substanțe impermeabile, ulei de in dublu fiert, sticlă solubilă sau alte vopsele și învelișuri.

Mobilă încorporată și obiecte sanitare din lut

Așa cum a fost arătat deja, maleabilitatea lutului permite nu doar construirea pereților exteriori, tavanelor și pardoselilor, dar și a mobilei încastrate. Pentru aceasta, elementele din lut atunci când sunt încă ude sunt deosebit de indicate, pentru că li se poate conferi o mare varietate de forme; acestea deschid, de asemenea, calea către

noi modalități estetice de exprimare. Peretele dormitorului arătat în *14.80* este atât un perete exterior, cât și un dulap încastrat. Acesta este construit din elemente *stranglehm* (vezi capitolul 8, p.77). Pereții despărțitori de pe laturile dulapului susțin și ei peretele exterior. Tija de bambus, încastrată în timpul construcției, are rol de cuier, rigidizând, de asemenea, pereții despărțitori de pe laturi. Pe un alt perete exterior al acestui dormitor, arătat în *8.25*, p.77, nișele și polițele, pentru depozitarea lucrurilor personale, au fost cioplite din peretele *stranglehm*.
Rafturile pot fi ușor fixate între pereții *stranglehm* (vezi capitolul 8, p.77) sau între rulourile umplute cu lut ușor (vezi capitolul 10, p.90). Imaginea *14.79* arată astfel de rafturi și o oglindă integrată în perete. Imaginea *14.82* prezintă o sală de baie, al cărei duș central, jardiniera învecinată și cada sunt acoperite cu rulouri umplute cu lut. Chiar și chiuvetele pot fi construite din lut nears. Exemplul arătat în *14.81* este făcut dintr-un lut nisipos special, cu o putere de întărire foarte ridicată, în care crăpăturile de contracție au fost complet evitate. La acest amestec a fost adăugat 6% ulei de in dublu fiert. După uscare, chiuveta a fost învelită cu un strat de ulei de in. Exemplul din *14.79* a fost folosit timp de paisprezece ani, fără semne de deteriorare. În ambele cazuri, sifonul și garniturile de scurgere au fost instalate într-un vas mic din ceramică, în jurul căruia a fost fixat lutul. Acesta este modelat din lut nears, stabilizat cu 6% clei de cazeină și var. Ambele chiuvete s-au dovedit a fi rezistente la apă.

14.78 Tapet din lut
14.79 Sală de baie, reședință privată din Kassel, Germania

14.78

14.79

14.80

14.80 Dormitor, Reşedinţă privată din Kassel, Germania
14.81 Chiuveta, reşedinţă privată din Kassel, Germania

14.81

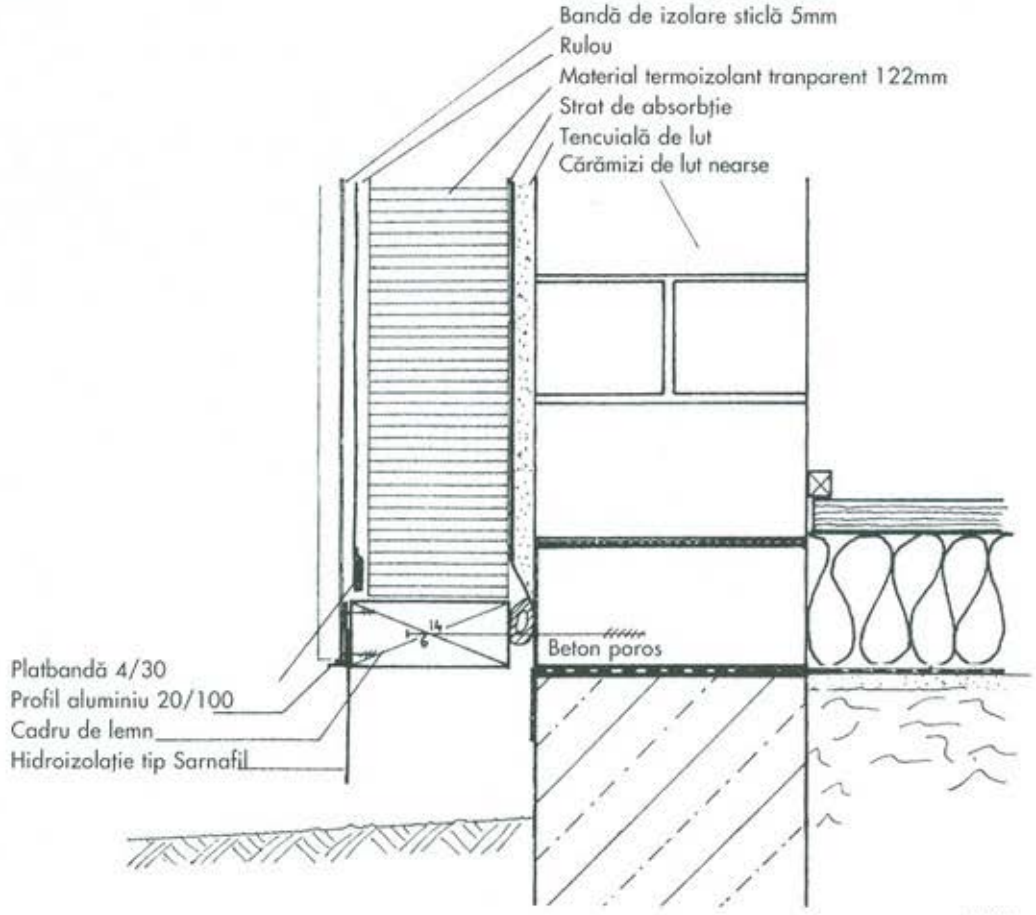
Sisteme de încălzire a pereţilor

În zonele de climă răcoroasă şi rece, acolo unde sunt necesare sisteme de încălzire, o soluţie preferabilă o constituie sistemele de încălzire a pereţilor integrate în zidurile de pământ. Acestea se bucură de multe avantaje în comparaţie cu sistemele tradiţionale. Căldura este radiată, fapt prin care se evită mişcarea aerului nesănătos şi circulaţia prafului. Sistemele pentru pereţi sunt mai economice, mai uşor de reparat şi mai puţin inerte decât sistemele de pardoseală.
Cea mai uşoară cale de construire a unui sistem de radiere pentru perete este aceea de a fixa tuburile de plastic sau de cupru, pe zidul existent şi de a le acoperi cu tencuială de lut, folosind apă caldă sau fierbinte pentru transferul de căldură.

Sistem de încălzire solară pasivă a pereților

O reședință cu birou din Kassel, Germania, are un sistem de încălzire eficient, care funcționează exclusiv cu energie solară (vezi p.153). Energia solară este dirijată printr-un strat de izolație de 10 cm grosime, alcătuit din tuburi subțiri din policarbonat, pentru a ajunge la un perete din lut de 24 cm grosime, care este acoperit cu tencuială din lut. Tencuiala este învelită cu o vopsea neagră, subțire și absorbantă. Acest perete radiază căldură în interiorul casei. Vara, atunci când căldura nu este necesară, dala translucidă este acoperită de o perdea reflectorizantă (parasolar) (*14.83*).

14.82



14.83

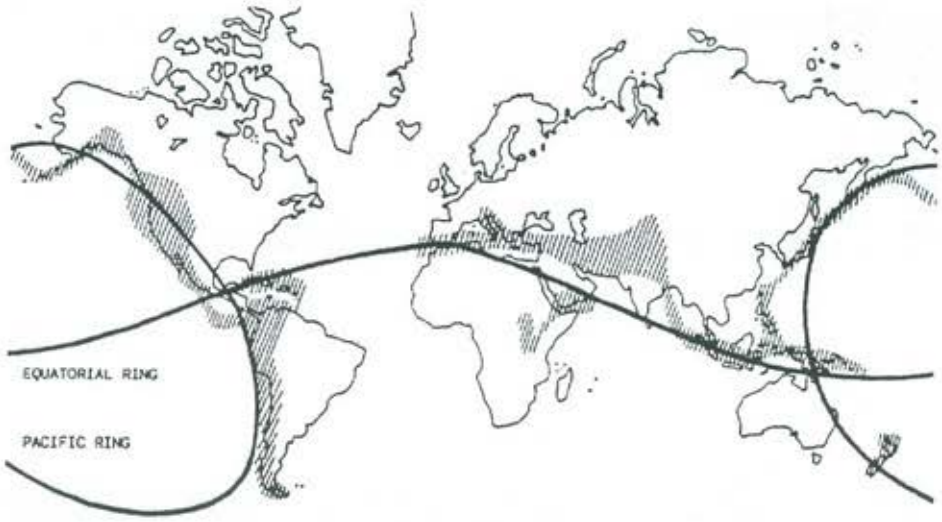
14.82 Sală de baie cu obiecte sanitare, acoperite cu rulouri umplute cu lut reședința privată din Kassel, Germania
14.83 Perete din lut cu dală translucidă, având izolație termică, acționând ca un sistem solar pasiv de încălzire.

15 Clădiri rezistente la cutremure

15.1 Bloc din Hakkas, China

15.1

Pământul ca material de construcție și-a pierdut din credibilitate mai ales din cauză că majoritatea caselor moderne, cu pereți din pământ, nu pot rezista la cutremure și pentru că pământul este văzut ca un material de construcție pentru săraci. În acest context, este demn de menționat faptul că un recensământ condus de guvernul Salvadorului, după cutremurul din 13 ianuarie 2001 (măsurând 7,6 grade pe scara Richter), a stabilit că locuințele din chirpici nu au fost afectate în mod grav, în comparație cu alte tipuri de construcții.
Pe de altă parte, multe clădiri istorice din pământ au rezistat la numeroase cutremure puternice în ultimele secole, de exemplu blocurile din Hakas, China (*15.1*) și multe ferme mari din pământ solid, bătut cu maiul, din Argentina. Pot rezista la șocuri de cutremur și casele cu acoperișuri ușoare și pereți flexibili, din vălătuc - precum casa din Guatemala, din *15.2* – datorită ductilității lor (a flexibilității).
Calitatea unei structuri rezistente la cutremur poate fi exprimată prin formula:
calitate structurală = rezistența x ductilitate
Acest lucru înseamnă că, cu cât este mai scăzută rezistența unei structuri date, cu atât mai mare trebuie să fie flexibilitatea, în timp ce, cu cât este mai mare flexibilitatea, cu atât mai scăzută este rezistența necesară.
Nu pământul ca material de construcție este responsabil pentru eșecurile structurale, ci sistemul structural al unei construcții date și configurarea deschiderilor sale, așa cum este discutat în următoarele secțiuni.
Cutremurele sunt cauzate de mișcările plăcilor tectonice sau de activitatea vulcanică. Regiunile cele mai predispuse la cutremure din lume sunt arătate în *15.3*. În Asia, au fost înregistrate cutremure cu



15.3

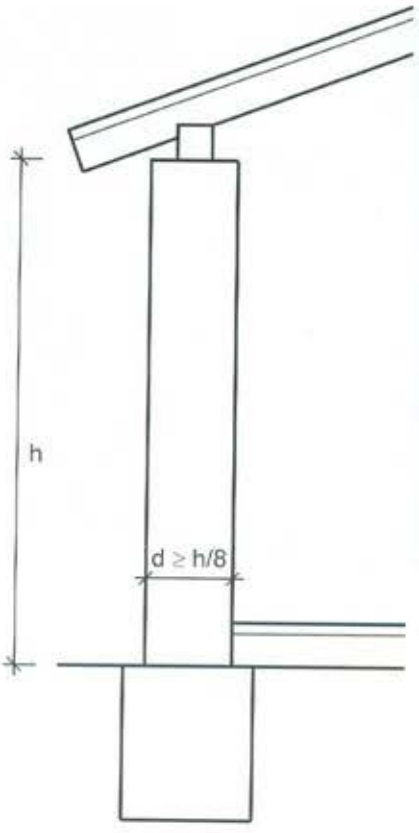
intensități de 8 grade pe scara Richter; în Anzi, unele măsurând până la 8,7 grade. Anual, aproape o sută de cutremure sunt înregistrate cu intensități peste 6 grade și douăzeci cu intensități peste 7 grade, pe scara Richter. Câteva mii de oameni sunt afectați de cutremure în fiecare an.
Clădirile sunt în principal lovite de accelerația orizontală creată de mișcarea pământului. Accelerațiile verticale, create de activitatea seismică, reprezintă mai puțin de 50% din cele orizontale.
Întrucât clădirile din lut sunt rar mai înalte de două etaje, această secțiune va discuta în principal despre problemele de rezistență la cutremure ale acestor tipuri de clădiri.
În clădirile de unul sau două etaje, pericolul principal în timpul cutremurelor este acela că pereții vor cădea și acoperișurile se vor prăbuși. De aceea, una dintre sarcinile structurale principale atunci când se proiectează clădiri rezistente la cutremur, este garantarea faptului că pereții nu vor cădea.

15.2

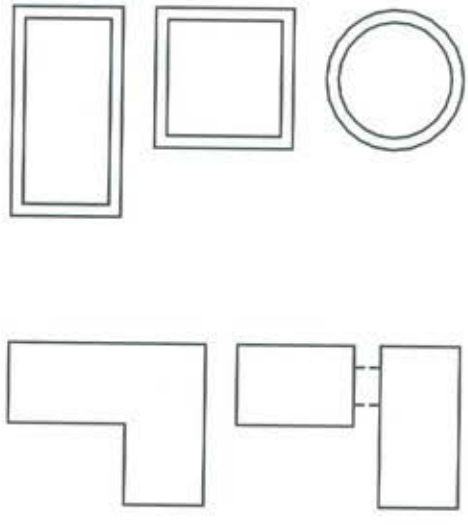
Măsuri structurale

Atunci când se fac proiecte pentru zonele predispuse la cutremur, ar trebui să se ia în considerație că forțele seismice, care acționează asupra unei clădiri sunt proporționale cu masa acesteia și că deviația crește în mod semnificativ o dată cu înălțimea. De aceea, atunci când se proiectează clădiri cu două etaje, este recomandabil ca pardoseala de la parter să fie solid construită, în timp ce planșeul superior să fie lăsat ușor, preferabil cu o structură în cadre flexibilă. Acoperișurile grele cu dale, plăci de ardezie și de țiglă ar trebui, din principiu, să fie evitate.
De obicei pereții cad în afară, pentru că le lipsește o centură inelară închisă, o înclinare suficientă și o putere de forfecare, dar și pentru că ușile și deschizăturile ferestrelor slăbesc structura peretelui. Sub influențele seismice, forțele sunt concentrate în colțurile acestor deschideri, creând crăpături. Pentru a reduce pericolul prăbușirii, ar trebui reținute următoarele aspecte:

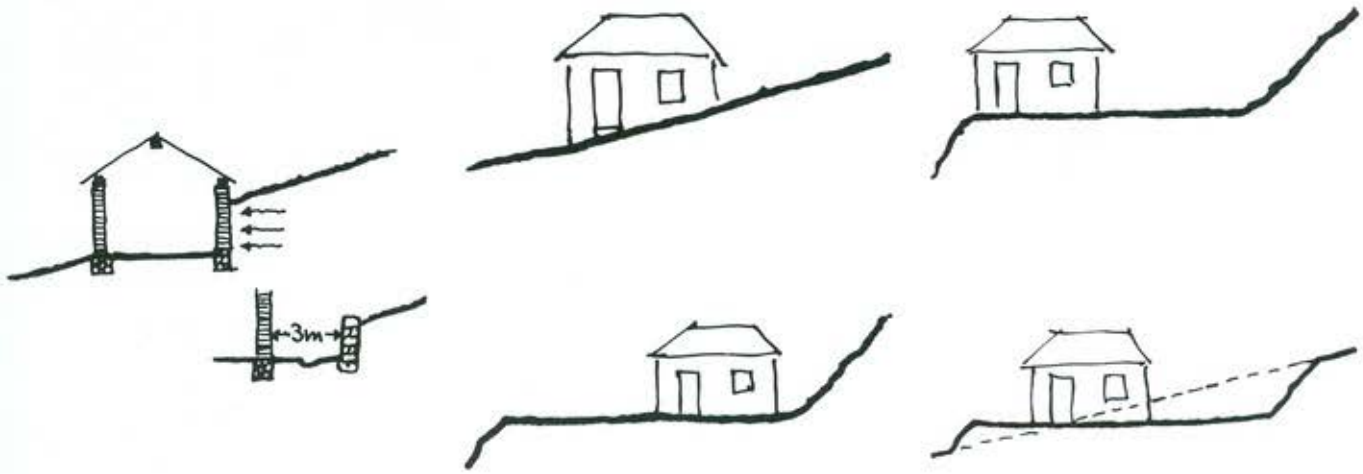
1.Casele nu ar trebui să fie amplasate pe locuri înclinate (*15.4*).
2.Frecvența de rezonanță a clădirii nu ar trebui să fie similară cu frecvența mișcării pământului în timpul cutremurelor. Acest lucru înseamnă că locuințele grele, cu construcții solide, n-ar trebui să fie așezate pe temelii din piatră tare, ci, în schimb, pe pământuri nisipoase sau nămoloase. În



15.6



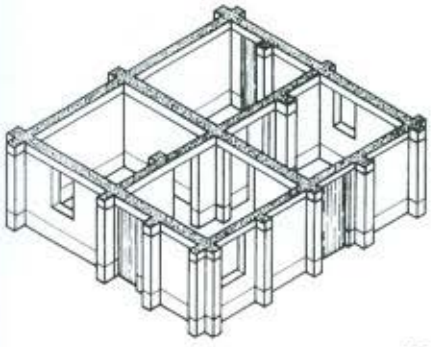
15.5



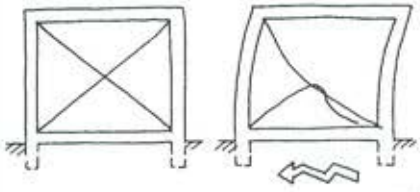
15.4

15.2 Casa vălătuc, după un cutremur puternic, Guatemala, 1976
15.3 Zone predispuse la cutremur (Houben, Guillaud, 1984)
15.4 Locație a unor case pe o pantă
15.5 Planuri de ansamblu
15.6 Mărimea peretelui
15.7 Pereți din chirpici, stabilizați cu contraforți
15.8 Stabilizarea pereților
15.9 Destabilizare prin impactul orizontal al unui perete vertical cu o construcție în cadre, stabilizată cu diagonale tensionate

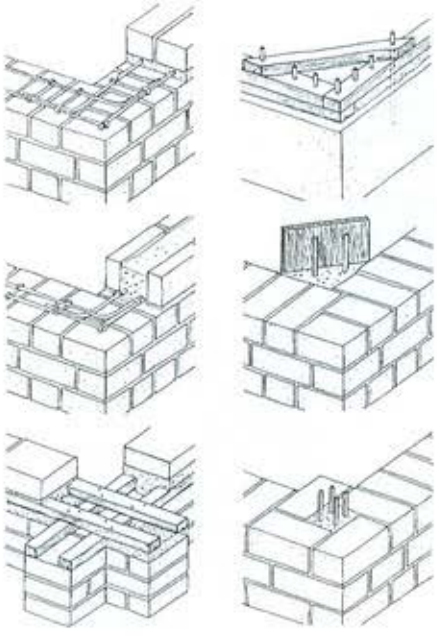
orice caz, casele ușoare se execută mai bine pe piatră tare, decât pe un pământ moale.
3.Diferitele părți ale unei case nu ar trebui să aibă fundațiile la niveluri diferite și nici să aibă înălțimi variate. Dacă se întâmplă acest lucru atunci ele ar trebui să fie separate din punct de vedere structural. Întrucât secțiunile de înălțimi diferite prezintă frecvențe de rezonanță diferite, acestea ar trebui lăsate să oscileze liber.
4.Planurile ar trebui să fie cât mai compacte posibil și ar trebui să fie simetrice. Planurile circulare conferă o rigiditate mai bună, decât cele dreptunghiulare (vezi *15.5*).



15.7

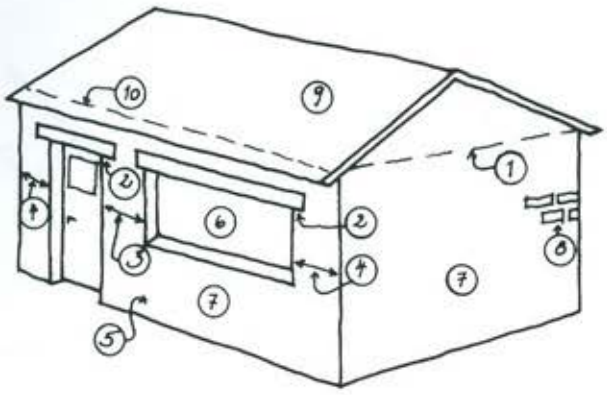


15.9



15.8

5.Fundațiile trebuie să acționeze precum ancorele inelare compacte și drept urmare ar trebui să fie întărite.
6.Fundațiile, pereții și acoperișurile ar trebui să fie bine fixate una de cealaltă, rosturile fiind capabile să reziste la forțele de forfecare produse.
7.Pereții trebuie să fie stabilizați împotriva îndoirii și a forțelor de forfecare. Zidăria trebuie să aibă rosturi complet umplute și mortar rezistent.
8.Pereții portanți de zidărie ar trebui să aibă o grosime minimă de 30 cm, înălțimile lor nu ar trebui să depășească de opt ori grosimile lor (*15.6*).
9.Pereții de zidărie ar trebui să fie rigidizați cu contraforți la o distanță minimă de 4 m fiecare (cu secțiuni minime de 30 x 30 cm) sau cu stâlpi, care sunt fixați în fundație (i.e. să fie în stare să reziste la mișcare) (*15.7*).
10.Colțurile pereților, rosturile dintre pereți, la fel ca și deschiderile de ușă trebuie să fie rigidizate prin stâlpi verticali ori din lemn, ori din beton armat, care sunt fixați din punct de vedere structural în fundație sau cu contraforți, astfel încât la forțele orizontale aceste elemente să nu crape (*15.8, 15.22*).
11.Pereții trebuie să fie terminați la vârf printr-o centură inelară, care trebuie să fie fixată în mod corespunzător de pereți.
12.Buiandrugii de deasupra ușilor și ferestrelor ar trebui evitate și ar trebui să fie sub formă de centuri inelare (*15.21*).
13.Acoperișurile ar trebui să fie cât mai ușoare posibil.



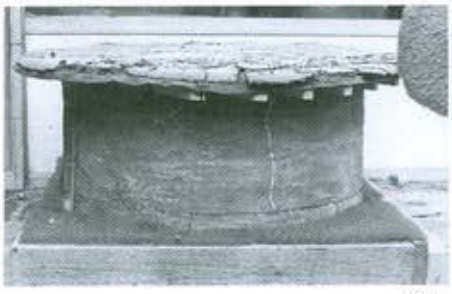
15.10

1. Lipseşte centura inelară.
2. Buiandrugii nu ajung destul de adânc în zidărie.
3. Distanţa dintre uşă şi fereastră este prea mică.
4. Distanţa dintre deschideri şi colţul peretelui este prea mică.
5. Lipseşte soclul.
6. Fereastra este prea largă pentru a se potrivi cu înălţimea sa.
7. Peretele este prea subţire în raport cu înălţimea sa.
8. Calitatea mortarului este prea slabă, rosturile verticale nu sunt complet umplute, rosturile orizontale sunt prea groase (mai mult de 15 mm)
9. Acoperişul este prea greu.
10. Acoperişul nu este suficient de bine fixat de perete.

15.11

15.12

15.13



15.14

15.15

14.Presiunea orizontală a bolţilor şi a cupolelor ar trebui să fie preluată suficient de centurile inelare, de contraforţi sau de tiranţi.

15.Deschiderile destabilizează pereţii şi ar trebui să fie dimensionate cu grijă (*15.23*).

Există două abordări de bază ale proiectării pentru rezistenţă la cutremure. Prima şi cea mai des folosită metodă este de a construi pereţii, acoperişurile şi rosturile lor destul de rigide, astfel încât să nu se poată sparge sau să fie deformate sub încărcăturile seismice.

A doua abordare este de a dota structura cu o ductilitate suficientă, pentru ca energia cinetică a oricărui impact seismic să fie disipată prin deformare. Aceasta este o soluţie mai inteligentă, mai ales dacă atrage după sine mai puţine probleme structurale şi materiale.

Dacă, de exemplu, un perete vertical cu o construcţie în cadre, stabilizată cu diagonale tensionate este izbit orizontal, din dreapta (aşa cum este arătat în *15.9*), va exista o concentrare de tensiune la ambele capete ale bazei, împins din stânga jos în dreapta în sus. Apoi slăbirea va apărea mai întâi la aceste rosturi ducând, posibil, la căderea zidului. Pe de altă parte, o structură elastică în cadre, fără diagonale – cu condiţia ca respectivele colţuri să reziste câteva clipe şi ca nici un element structural să nu fie supraîncărcat – de obicei permite apariţia deformării, fără a duce la căderea zidului. În cel de-al doilea caz, în mod evident, umplutura cadrului trebuie, de asemenea, să fie oarecum flexibilă. De aceea pereţii construiţi prin tehnica vălătuc, în care o reţea flexibilă de componente orizontale şi verticale este tencuită cu lut, de exemplu, sunt mai puţin predispuşi la deteriorare decât pereţii din zidărie. Imaginea *15.1* prezintă o casă din Guatemala care a fost lovită de un cutremur puternic şi a fost destul de flexibilă să reziste la tensiune.

Există trei principii generale, diferite, pentru proiectarea structurilor rezistente la cutremure:

1.Zidurile şi acoperişul sunt bine conectate şi destul de rigide, astfel încât să nu apară nici o deformare în timpul cutremurelor.

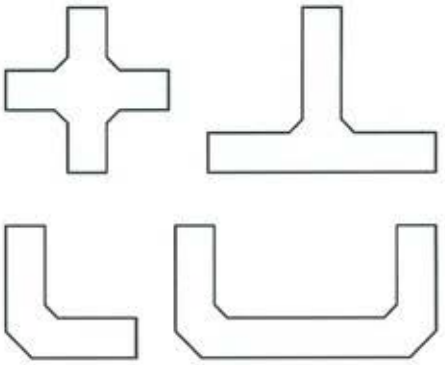
2.Zidurile sunt destul de flexibile (ductile), astfel încât energia cinetică a cutremurului să fie absorbită de deformare. În acest caz este necesar să se instaleze o centură inelară destul de puternică pentru a rezista forţelor de încovoiere; rosturile dintre perete şi grinda inelară şi dintre grinda inelară şi acoperiş trebuie să fie suficient de puternice.

3.Zidurile sunt proiectate aşa cum s-a menţionat la punctul 2, dar acoperişul este fixat de stâlpi, care sunt despărţiţi de perete, astfel încât ambele sisteme structurale să se poată mişca independent, întrucât au frecvenţe diferite în timpul unui cutremur.

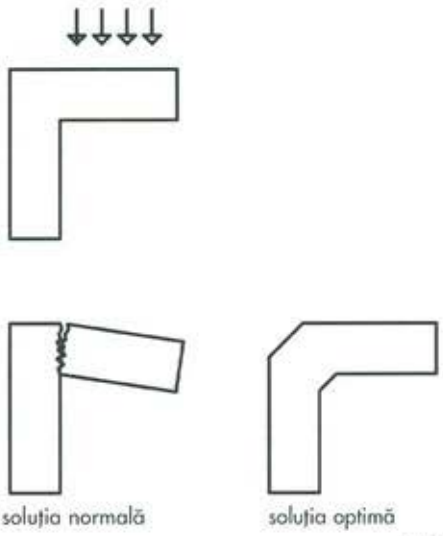
Trei proiecte de cercetare, întreprinse de Laboratorul de Cercetare în Construcţii, din cadrul Universităţii Kassel, din Germania, care au analizat deteriorarea produsă de cutremur în cazul unor case rurale, cu un singur etaj, din Guatemala, Argentina şi Cile, au concluzionat că aceleaşi erori de proiectare structurală duc în mod sistematic la prăbuşire. Cele zece greşeli principale

*15.10.*Greşeli tipice de proiectare, care ar putea duce la prăbuşirea casei
15.11 - 15.15 Teste de cutremur cu mostre în formă pătrată şi circulară (Minke, 2002)

15.16



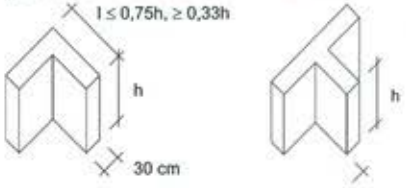
15.17



15.18

15.16 Test simplu de studiere a influenței pe care o are forma peretelui asupra rezistenței la șocurile seismice (LCC).
15.17 Elemente cu detalii ale colțului corect.
15.18 Soluția colțului
15.19 Proporții recomandate

sunt enumerate în *15.10*.
La LCC a fost dezvoltat un test simplu, în cadrul unei teze de doctorat, pentru a arăta influența formei unui perete asupra rezistenței la șocuri seismice. O greutate de 40 kg, la capătul unui pendul cu lungimea de 5,5 m, a fost lăsată să cadă peste o mostră (*15.16*). Casa din pământ bătut cu maiul, cu un plan pătrat, a prezentat primele crăpături mari după a doua lovitură (*15.11*). După trei lovituri, s-a detașat o secțiune din perete (*15.12*) și după patru lovituri, casa s-a prăbușit (*15.13*). În orice caz, casa din pământ bătut cu maiul, cu plan circular, a prezentat primele crăpături doar după trei lovituri (*15.14*) și o secțiune mică de perete s-a detașat doar după șase lovituri (*15.15*) (Yazdani, 1985).
O soluție simplă de stabilizare a pereților din pământ bătut cu maiul, de grosimi mai mici, este de a folosi elementele în formă de L, T, U, X, Y sau Z (*15.17*). Datorită unghiurilor acestora, ele au o stabilitate mai bună în fața forțelor laterale. Dacă un perete este gros de 30 cm, capetele libere ale elementelor nu ar trebui să fie mai lungi de 3/4 și nici mai scurte de 1/3 din înălțimile lor (vezi *15.19*). Această lungime minimală este necesară pentru transferarea încărcăturilor pe diagonală, către soclul fundației. Dacă respectivele capete libere sunt mai lungi de 3/4 din înălțimile lor, acestea ar trebui să fie stabilizate de un alt unghi. Dacă unghiul este bine fixat la bază de soclu, și în vârf, de o centură de contur, acesta ar trebui să fie mai mare sau mai înalt. Cu toate acestea, înălțimea nu ar trebui să depășească lățimea de opt ori (vezi *15.6*). Forțele perpendiculare pe perete sunt transferate în interiorul



15.19

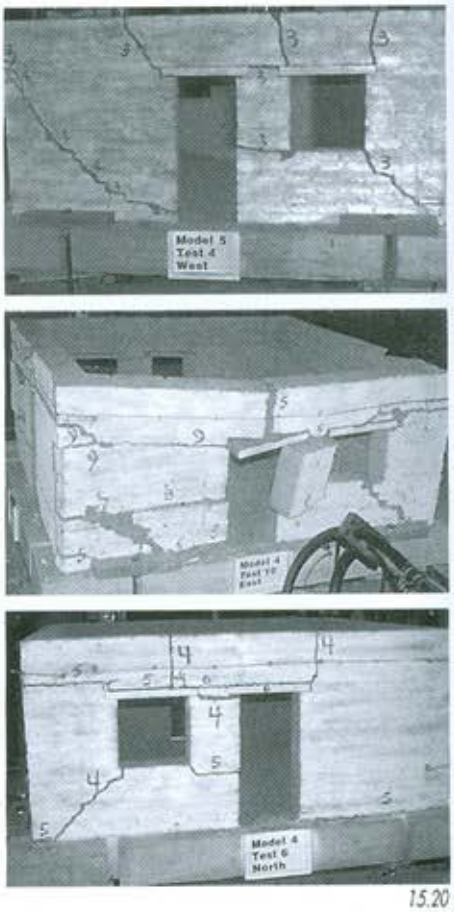
unghiului, paralel cu direcția forței. Acest lucru înseamnă că se transferă, în loc să se creeze, o concentrație de tensiune în colțul interior al unghiului. Este recomandabil, drept urmare, să se mărească secțiunea de la acest colț, așa cum este arătat în *15.17* și *15.18*.

Deschideri pentru uși și ferestre

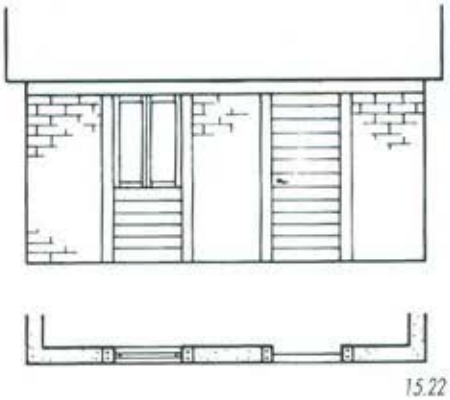
Deschizăturile din perete destabilizează sistemul acestuia. În timpul cutremurelor crăpăturile diagonale apar des, începând de la marginile ferestrei (*15.20*). Pentru a obține o aderență bună, buiandrugii trebuie să pătrundă cel puțin 40 cm în perete (*15.21*). Oricum, în acest caz, zona de deasupra pragului ar putea să fie slăbită și ar putea să cadă în timpul unui cutremur, așa că cea mai bună soluție este de a utiliza buiandrugul ca o grindă de contur pe care este așezată structura acoperișului. Este, de asemenea, recomandabil ca secțiunea de sub fereastră să fie construită ca o structură ușoară și flexibilă, cum ar fi de exemplu, din panouri de lemn sau din vălătuci. Trebuie să se țină cont de următoarele reguli (*15.23* și *15.24*):
Lățimea unei ferestre nu ar trebui să fie mai mare de 1,2 m și nici mai mare de 1/3 din lungimea peretelui.
Lungimea pereților dintre deschizături trebuie să fie de cel puțin 1/3 din înălțimea acestora și nu mai mică de 1 m.
Ușile trebuie să se deschidă în afară. În direcția opusă față de ușa de la intrare, ar trebui să fie o fereastră mare sau o altă ușă, care să aibă rol de ieșire de urgență (*15.24*)

Pereți din pământ bătătorit consolidați cu bambus

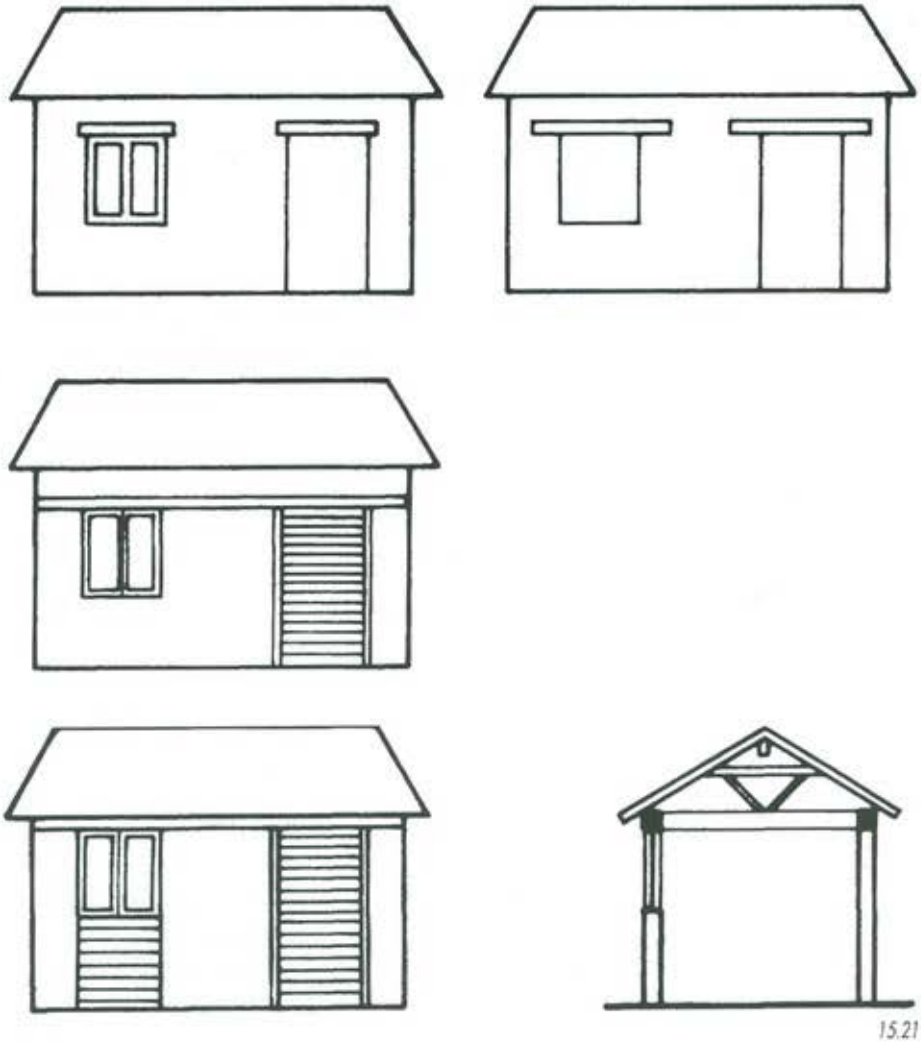
O tehnică de construire a peretelui din pământ bătut cu maiul, lambrisat și întărit cu bambus a fost dezvoltată în 1978 de către LCC, ca parte a unui proiect de cercetare, și a fost implementată cu succes, în



15.20

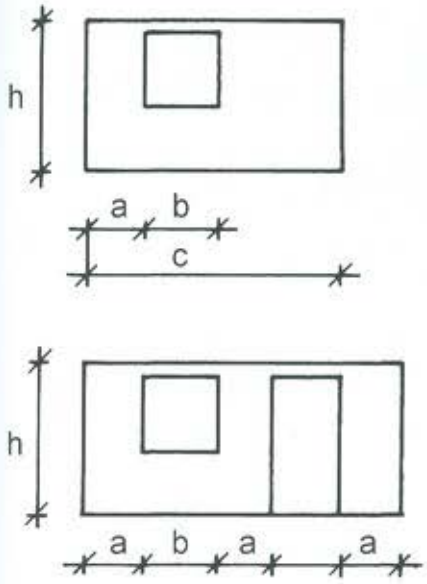


15.22



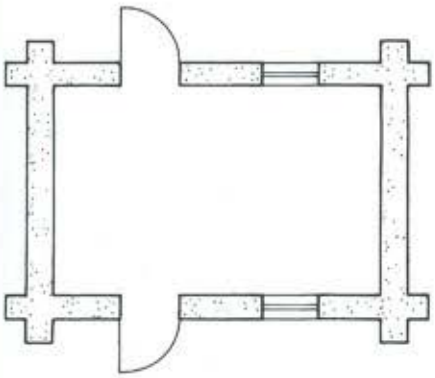
15.21

15.20 Prăbușiri tipice, cauzate de mișcările seismice (Tolles et al., 2000)
15.21 Tipuri de buiandrugi
15.22 Deschideri stabilizate
15.23 Dimensiuni recomandabile pentru deschideri
15.24 Poziții recomandabile ale deschiderilor
15.25 – 15.26 Prototip de locuință rezistentă la cutremur și având costuri reduse, cu pereți din pământ bătut cu maiul, întăriți cu bambus, Guatemala, 1978

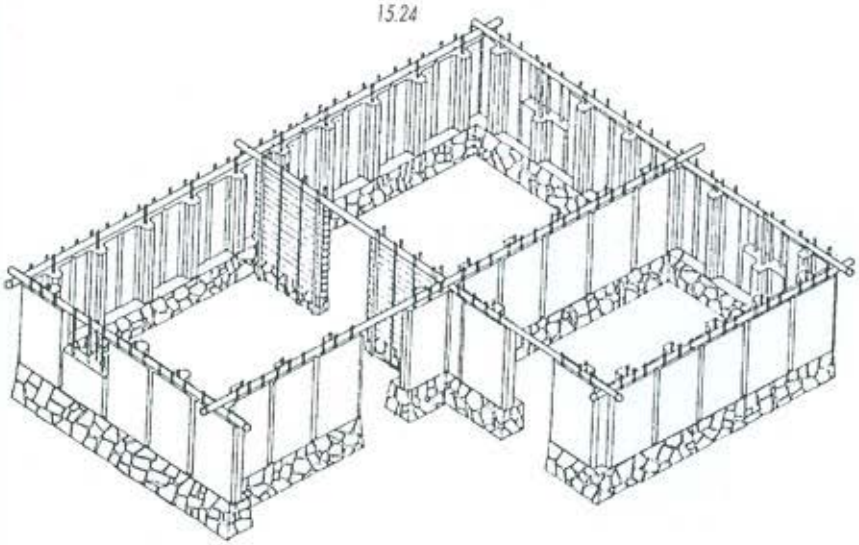


15.23

15.25

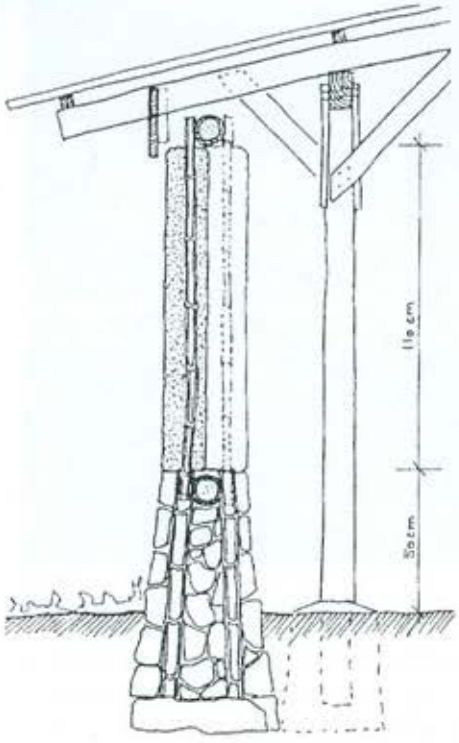


15.24



15.26

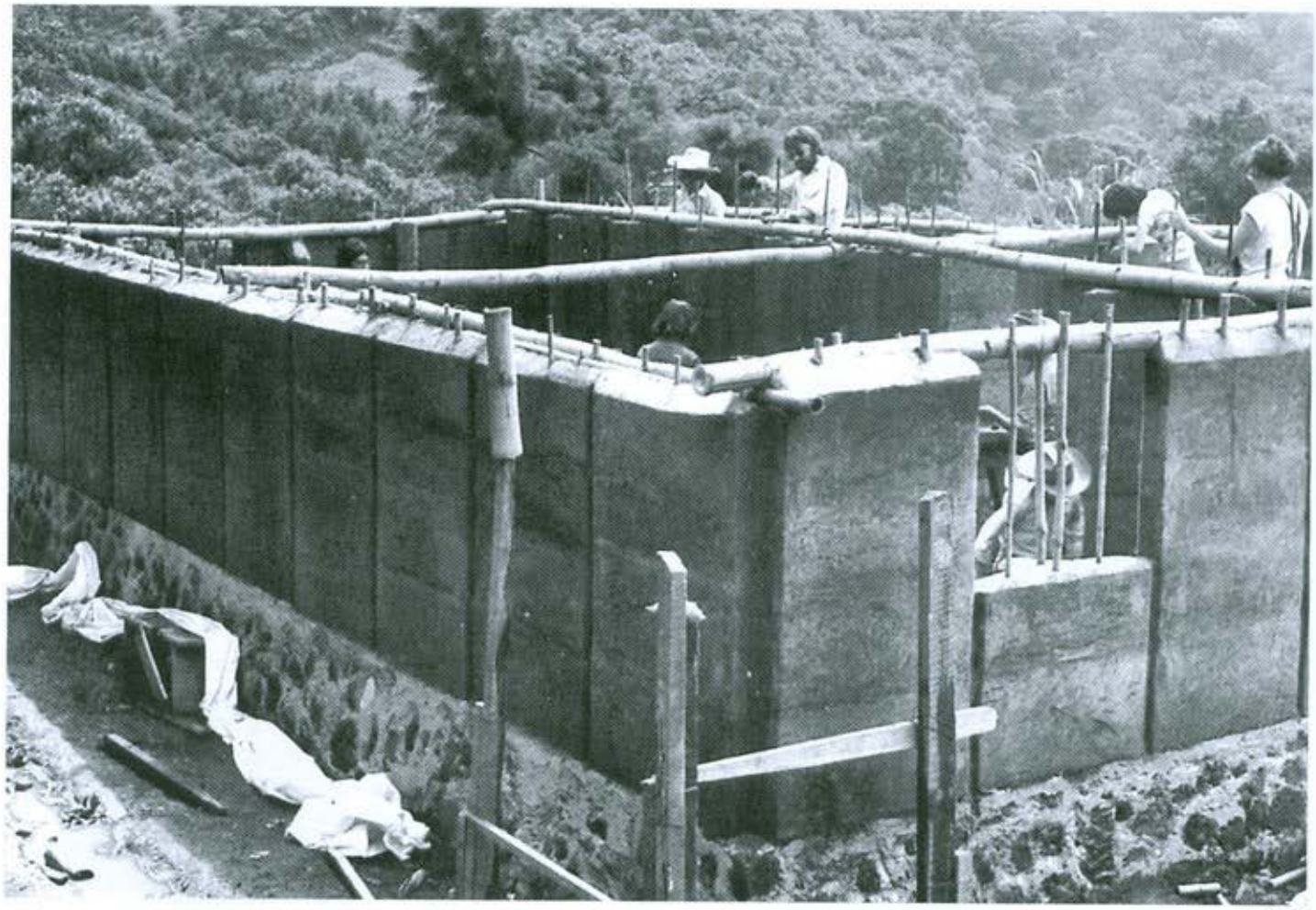
cooperare cu Universitatea Francisco Marroquin (UFM) și cu Centrul pentru Tehnologie Corespunzătoare (CEMAT), ambele în Guatemala (*15.25 - 15.29*).
În cadrul acestui proiect, elemente late de 80 cm și înalte de un etaj, făcute din pământ bătut cu maiul și întărite cu bambus, au fost construite folosind un cofraj din metal în formă de T, lat de 80 cm, înalt de 40 cm și gros de 14-30 cm (*15.28*). Stabilitatea peretelui a fost asigurată de patru tije încastrate, de bambus, groase de 2-3 cm și de secțiunea în forma de T, a elementului peretelui. Aceste elemente au fost fixate la bază, de o centură de contur din bambus, care a fost încastrată în soclul din zidărie de piatră și prinsă în vârf de o grindă perimetrală, dreaptă, din bambus.
Datorită nervurii care a fost integrată în elementul peretelui, acest element are o rezistență de aproape patru ori mai mare, în fața forțelor orizontale, decât ar fi avut un perete singur de 14 cm.
După uscare, o gaură verticală de 2 cm apare între elemente. Aceasta este apoi umplută cu lut. Acest rost acționează ca un rost preproiectat, de prăbușire, care permite o mișcare liberă a fiecărui element, în timpul unui cutremur.
Acest lucru înseamnă că rosturile se pot deschide și întreaga structură se poate deforma (disipând energia seismică, cinetică), fără ca unitatea peretelui să se zdrobească sau să cadă.
Stâlpii, pe care stă acoperișul, sunt localizați la 50 cm depărtare de pereți (*15.27*), în interior, astfel încât structura acoperișului să fie independentă de sistemul peretelui.
Suprafața din pământ bătut cu maiul nu a fost tencuită, ci doar netezită cu o mistrie și apoi vopsită cu un amestec făcut dintr-un sac de var hidraulic, 2 kg de sare obișnuită, 1 kg de alaun, 1 kg de pământ argilos și circa 40 litri de apă.
În 1998, LCC a dezvoltat un alt sistem, pentru un perete din pământ bătut cu maiul și întărit, care a fost utilizat pentru un proiect al unei case având costuri reduse, construit în cooperare cu Universitatea din Santiago de Chile din Alhué, Chile, în 2001 (vezi *15.30* și *15.31*). Și aici ideea era să se despartă acoperișul de sistemul peretelui și să se folosească elemente în formă de U și L, care să se stabilizeze singure, prin forma lor. Pentru obținerea unei stabilități suplimentare,



15.27

15.28

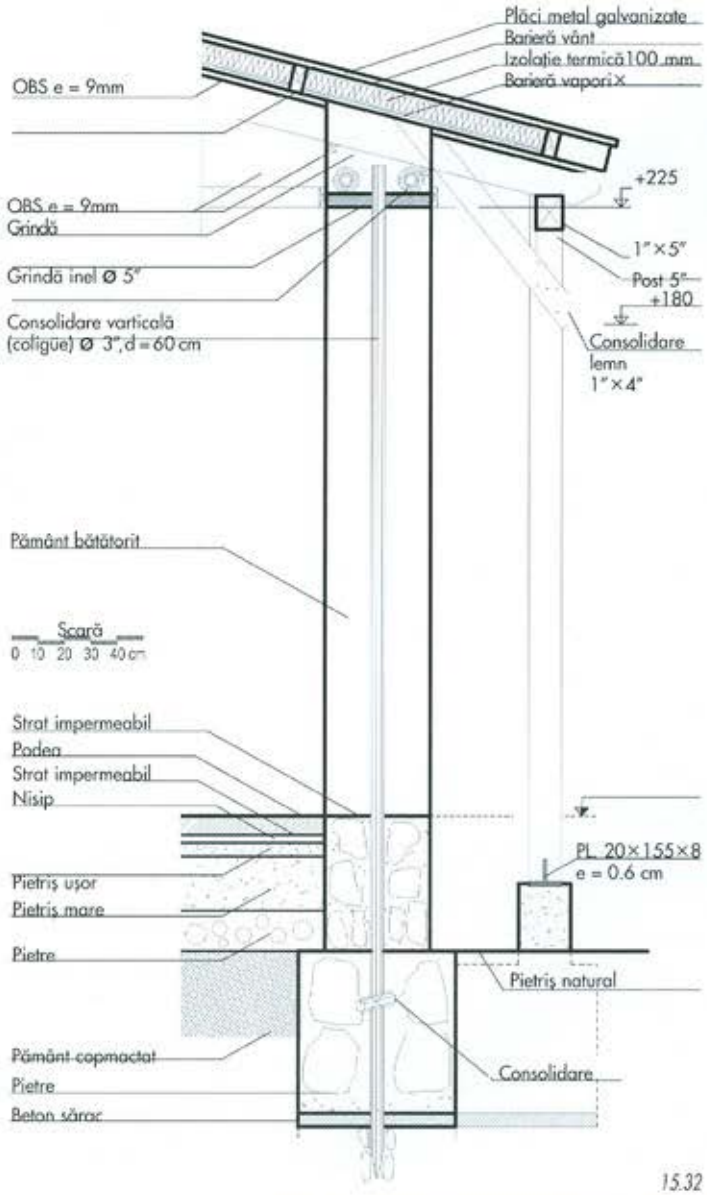
15.27 – 15.29 Prototip de locuință rezistentă la cutremur și având costuri reduse, cu pereți din pământ bătut cu maiul, întăriți cu bambus, Guatemala, 1978
15.30 – 15.32 Prototip de clădire rezistentă la cutremur, Alhué, Chile, 2001



15.29

15.31

15.30



15.32

aceștia au fost întăriți cu tije verticale, de *coligue* (similar cu bambusul), în diametru de 3-5 cm. Elementele peretelui erau mereu despărțite prin elemente ușoare și flexibile sau prin uși și ferestre. Parapeții ferestrelor și părțile de deasupra ușilor nu au fost construite cu elemente solide, ci cu lemn ușor. Fațadele au fost construite din lut ușor cu paie, stabilizat cu elemente din lemn, similare sistemului vălătuc.

Arcade

Pentru construirea unei cupole optimizate din punct de vedere structural, fără cofraj, LCC a dezvoltat un dispozitiv de ghidare rotativ care este fixat pe un pilon vertical. La capătul brațului rotativ este fixat un unghi lângă care zidarul așează chirpiciul sau blocul de pământ permițând blocului să fie poziționat cu precizie. Imaginile *15.33* și *15.36* arată aplicația acestei tehnici de construcție pentru o cupolă rezistentă la cutremur, cu o deschidere liberă de 8,8 m, care este de 5,5 m înălțime, construit în La Paz, Bolivia, în 2000. Cupola este stabilizată cu două centuri inelare din beton armat, una la baza domului și cealaltă la partea superioară a fundației.

Pentru asigurarea unei distribuții bune a sunetului în interiorul domului, chirpiciul a fost făcut manual într-o matriță specială cu marginile rotunjite. Comportamentul acustic a cupolei a fost mai târziu perfecționat prin adâncirea rosturilor verticale pentru obținerea unei absorbții a

sunetului și prin poziția unei console subțiri, care previne concentrarea sunetului către centrul domului.

Cupole

O regulă importantă pentru proiectarea soclului și a fundației este ca forța rezultantă de la baza boltei trebuie să treacă prin treimea interioară a suprafeței fundației. Acest lucru înseamnă că excentricitatea ar trebui să fie mai mică de 1/6. Fundația trebuie să aibă o grindă din beton armat sau oțel, care poate rezista și la forțele orizontale suplimentare create de un cutremur.

Imaginea *15.37* prezintă o secțiune a unei clădiri care a fost construită într-o zonă predispusă la cutremur din Bolivia. Soclul acesteia are niște dimensiuni structurale, periculoase, întrucât forța rezultantă a boltei creează un moment de încovoiere în plintă și nu rămâne în interiorul treimii peretelui, așa cum este necesar. Structura se va prăbuși ușor, atunci când va fi lovită de un cutremur.

Secțiunea transversală a unei bolți este foarte importantă pentru stabilitate. Pentru bolți, care suportă doar propriile lor greutăți,

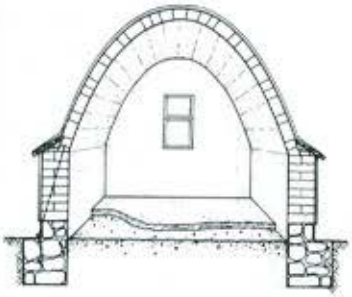
15.34

15.33

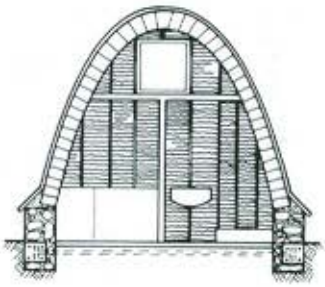
15.36

15.35

15.33 – 15.34 Dispozitiv de ghidare rotativ
15.35 – 15.36 Cupola terminată
15.37 Soclu greșit proiectată, cu o linie de descărcare excentrică, care se prăbușește ușor atunci când este lovită de șocurile seismice
15.38 Model rezistent la cutremur, pentru un proiect de locuință cu costuri reduse din Gujarat, India
15.39 – 15.40 Forme periculoase de bolți, Bam, Iran
15.41 Bolta care a rezistat cutremurului la Bam, Iran, decembrie 2003



15.37



15.38

15.39

secţiunea optimă este un lănţişor inversat, întrucât nu vor avea loc niciun fel de momente de încovoiere în interiorul boltei. Bolţile ascuţite, aşa cum sunt arătate în *15.39*, sau bolţile „plane", cum se arată în *15.40*, tipice pentru arhitectura iraniană, se prăbuşesc foarte uşor, atunci când sunt lovite de şocuri seismice, în timp ce bolta din *15.41* a rezistat în faţa cutremurului puternic din Bam, Iran, în decembrie 2003. Doar partea frontală a căzut.

Cea mai bună soluţie pentru faţadele bolţilor este de a le construi, pentru a fi uşoare şi flexibile, ori din împletituri acoperite cu tencuială din pământ, ori din plăci de lemn. Imaginea *15.38* prezintă un model al autorului pentru un proiect de locuinţă, rezistentă la cutremur şi având costuri reduse, din regiunea Gujarat, India.

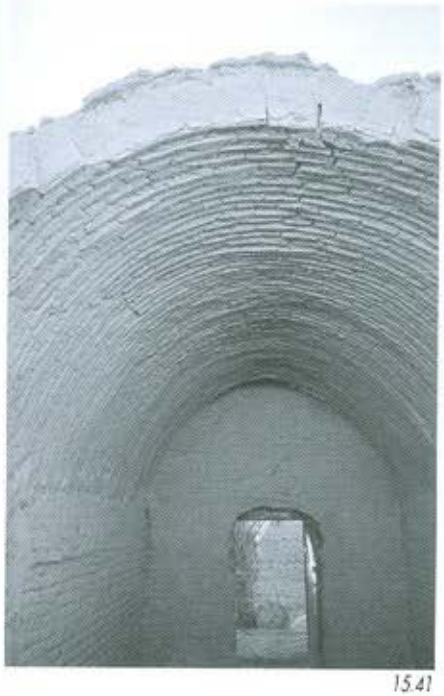
În 2001, o propunere a autorului de stabilizare a bolţilor din chirpici cu arce din bambus care garantează un anumit grad de ductilitate a fost realizată într-o structură de test, construită în 2001, la Universitatea din Kassel, Germania (*15.42 – 15.45*).

A fost construită folosind un chirpici special, în forma de U, care stătea pe o arcadă, ea însăşi construită din trei straturi de bambus spart. Secţiunile de bambus au fost înmuiate în apă timp de trei zile, pentru a le face flexibile. Apoi, au fost îndoite peste beţe, care au fost băgate în pământ, de-a lungul unei curbe a lănţişorului (*15.43*). Pentru a menţine forma arcadei, cele trei secţiuni din bambus au fost înfăşurate împreună cu sârma din

15.40

oţel galvanizat la intervale de 50 cm. Arcada a fost poziţionată vertical şi fixată cu bare de oţel, care ieşeau în afara plintei. Această legătură trebuie să fie capabilă să absoarbă forţele de întindere, în timpul unui cutremur. Deasupra boltei de chirpici a fost fixată şi legată de soclu o folie din material de poliester, învelit cu PVC. Aceasta are două funcţii: prima, asigură adăpost împotriva ploii şi a vântului; a doua, pretensionează arcada, crescând astfel stabilitatea acesteia împotriva vibraţiilor din timpul cutremurelor.

Astfel de vibraţii pot deforma bolta până la un anumit grad, determinând rosturile din chirpici să se desfacă, dar bolta nu se va prăbuşi, întrucât este ţinută de pelicula de întindere pretensionată, din vârf şi de arcele pretensionate, din bambus, de dedesubt. Stabilitatea structurii, depinde apoi, în principal, de ductilitatea ei. În orice caz, trebuie să se ţină cont că, dacă pretensionarea membranei este prea mare, secţiunea optimă a boltei este mai degrabă ca o elipsă şi nu ca un lănţişor răsturnat. Pentru regiunile în care au loc cutremure,



15.41

14.44

15.45

din Argentina și Iran, autorul a dezvoltat un sistem pretensionat, similar, pentru bolțile din cărămizi de lut. Imaginea *15.46* prezintă un proiect pentru clădirea unui orfelinat din Bam, Iran, unde bolțile sunt construite cu grosimi de 25 cm.
Acestea sunt pretensionate cu benzi din oțel, care sunt strânse de grinda de contur din beton armat, la baza boltei. Forțele de pretensionare egale, în toate părțile, sunt asigurate prin folosirea unei chei dinamometrice calibrate. Secțiunea optimă a bolții este obținută printr-un program de calculator. Acesta garantează că forțele rezultante din greutatea proprie a structurii și forțele pretensionate sunt direcționate de-a lungul mijlocului secțiunii transversale a boltei.

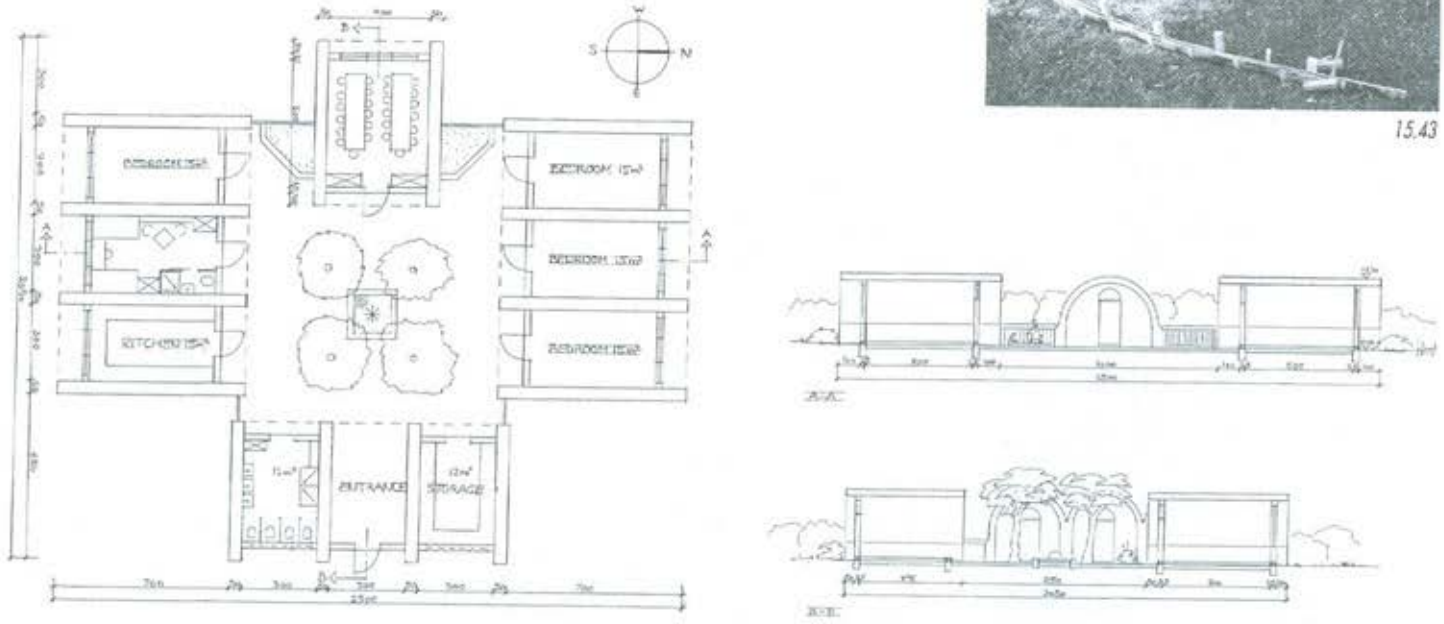
Pereți textili cu umplutură de lut

Un proiect de cercetare al LCC, inițiat în 1977, a examinat numeroase abordări de construire a pereților folosind componente textile umplute cu pământ argilo-nisipos, piatră ponce și nisip.
Imaginea *15.47* prezintă structura unei cupole, construită în 1977, din tuburi de poliester umplute cu pământ.

Două sisteme nou dezvoltate au fost testate într-o casă prototip având costuri reduse destinată zonelor predispuse la cutremure din țările în curs de dezvoltare. Primul, ilustrat în *15.50*, constă din pereți formați din două straturi de iută. Niște stâlpi subțiri din lemn sunt loviți cu ciocanul în pământ, iar materialul este fixat de aceștia, din interior.

15.42

15.43



15.46

15.42 Fabricarea chirpiciului executat la comandă
15.43 Pregătirea arcadelor din bambus
15.44 Bolta de test
15.45 Bolta cu înveliș dintr-o folie post-tensionată
15.46 Proiect pentru un orfelinat din Bam, Iran
15.47 Cupola, Kassel, Germania, 1997
15.48 – 15.49 Elemente de perete prefabricate
15.50 Clădire prototip, Kassel, Germania, 1978

15.47

15.48

15.49

15.50

Spațiul creat este umplut cu pământ. Cercetarea a mai demonstrat că elementele peretelui de acest tip, fără umplutură, pot fi prefabricate cu lungimi până la 10 m și apoi împăturite și rulate în suluri mici (vezi *15.48* și *15.49*).
Cel de-al doilea sistem constă din tuburi din iută umplute cu piatră ponce sau cu pământ nisipos (*15.51*). Materialul este acoperit cu numeroase straturi de vopsea de var (*15.52*), pentru a preveni putrezirea materialului și pentru a stabiliza suprafața și de a o face rezistentă la apă.
Ca parte a unui proiect de cercetare în colaborare al LCC cu UFM și CEMAT din Guatemala, din 1978, o casă prototip de 55 m^2, cu costuri reduse, a fost ridicată în Guatemala folosind tuburi umplute cu pământ pentru pereți. Această tehnică, dezvoltată în timpul experimentelor făcute cu tehnica tuburilor umplute cu pământ, descrisă mai devreme și adaptată la condițiile locale din Guatemala (*15.53 – 15.55*), prezintă o rezistență foarte bună la cutremur datorită ductilității sale. Aici, tuburile, măsurând 10 cm în diametru, au

15.51

15.52

15.53

15.54

fost făcute din bumbac și au fost umplute cu pământ vulcanic conținând în principal, piatră ponce. Acestea au fost înmuiate în lapte de var (pentru a preveni putrezirea materialului) și apoi stivuite între niște stâlpi verticali, pereche, ridicați la distanțe de 2,25 m. O stabilitate suplimentară a fost asigurată de tijele de bambus, fixate vertical la un interval de 45 cm între fiecare panou. După ce pereții au fost ridicați, au fost finisați cu două straturi de vopsea de var. Structura acoperișului stă pe niște stâlpi independenți, situați la 50 cm depărtare de pereții din interior. Costurile materialului ale acestei structuri au fost doar de aproximativ o jumătate din costurile unei case comparabile, făcută din blocuri din mortar de ciment.

Pereții construiți din tuburi de material, umplute cu lut mineral ușor, sunt descriși în capitolul 10, p.90 și în capitolul 14, p.133.

15.51 – 15.52 Clădire prototip, Kassel, Germania

15.53 – 15.55 Prototip de casă cu costuri reduse, Guatemala, 1978

15.55

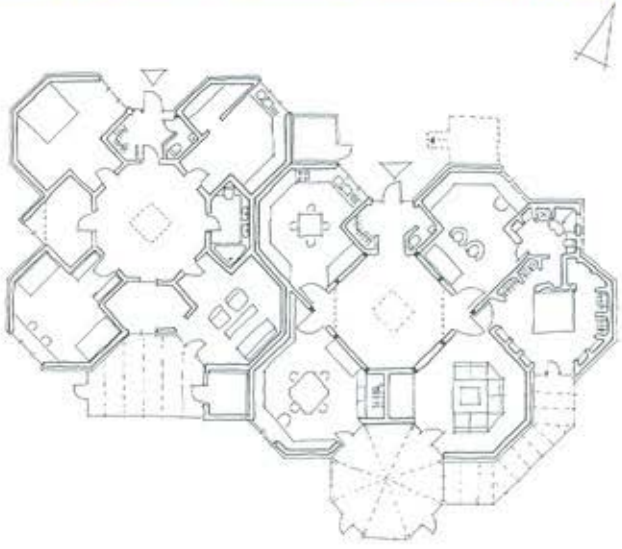
II Exemple de construcții

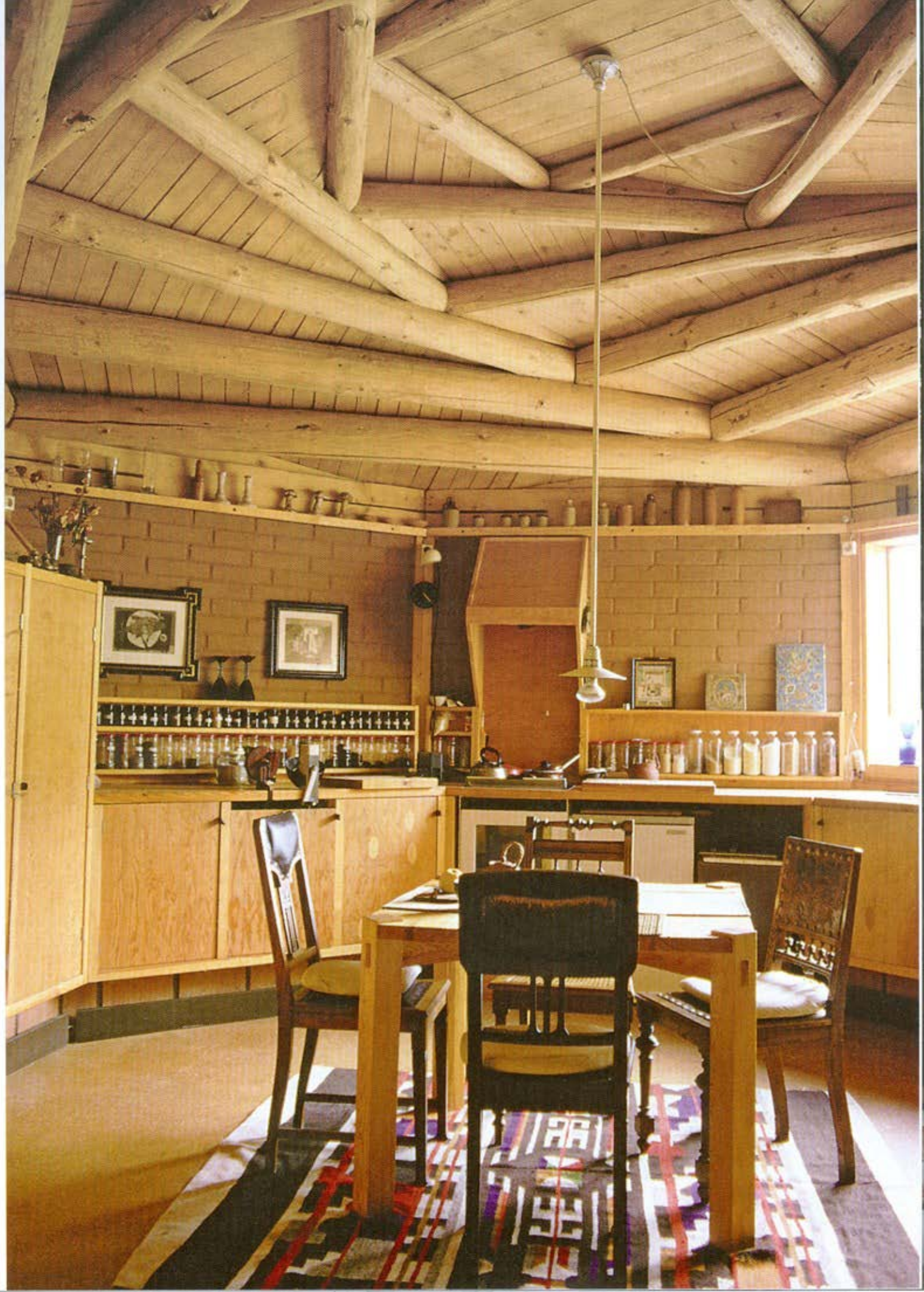
După cum veți vedea în exemplele prezentate în acest capitol, casele moderne care au ca material principal de construcție lutul nu trebuie să aibă un aspect exterior caracteristic sau particular. Acesta poate fi unul tradițional sau modern, simplu sau sofisticat, modest sau impunător. În zonele cu climat rece, lutul ca material de construcție nu e vizibil din exterior, fiind acoperit de materialele necesare pentru izolație și protecție împotriva vremii reci. În interior, însă, se pot observa o varietate de tehnici de construcție folosind pământul, precum și multiplele lor aplicații. În acest capitol sunt prezentate în detaliu o gamă largă de clădiri de acest tip, cu exemple din zone calde unde izolația este mai puțin necesară; din acest motiv, în aceste exemple materialele din lut se pot observa și din exterior.

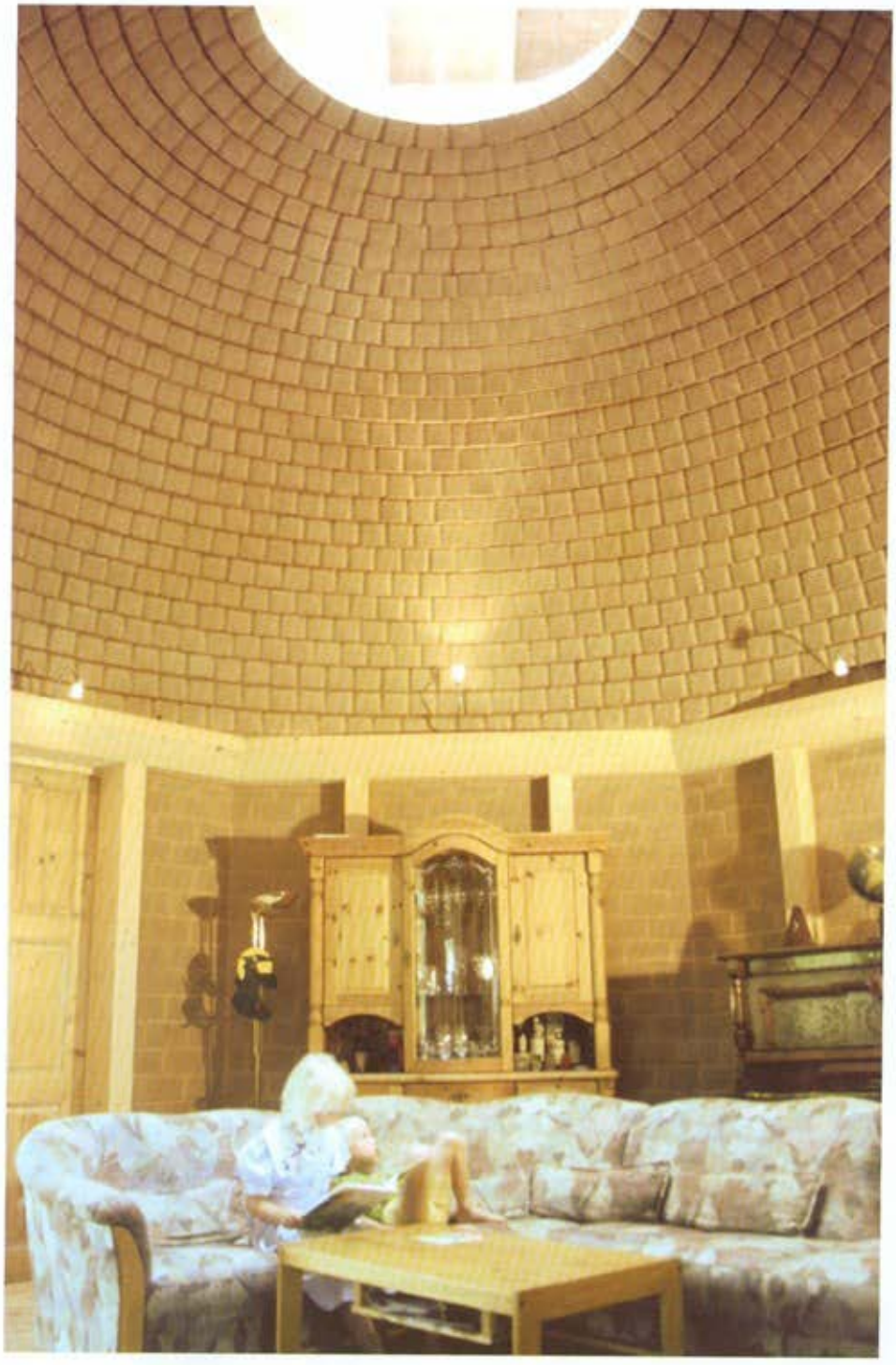
■ Două case semidetașate din Kassel, Germania

Aceste două case sunt caracterizate prin fațade și acoperișuri verzi care se armonizează perfect cu peisajul și cu conceptul ecologic. De remarcat la această construcție este dispunerea camerelor în jurul unei sufragerii multifuncționale cu o galerie deasupra, în felul acesta evitându-se coridoarele și integrarea unei grădini de iarnă. Toti pereții interiori sunt din lemn îmbrăcat cu lut. Acoperișurile din lemn prezintă un design bombat special, făcut din buturugi de lemn. Policioarele și chiar chiuveta din baie au fost construite din lut nears (vezi cap.14).

Arhitect: Gernot Minke,
Kassel, Germania
Terminată în 1985
Suprafața: 160 m^2 + 120 m^2
Fundația: fundație din beton
Pardoseala: pietriș de 27 cm acoperit cu izolație termică, plăci de cherestea sau lut mineral ușor de 14 cm grosime cu finisaj de sisal matisat și, în camerele umede, țigle de plută.
Pereții exteriori: cărămizi crude, lut expandat, cu izolație termică suplimentară, orificii pentru aerisire și plăci de lemn netratate.
Pereții interiori: Cadrul de lemn cu lut expandat.
Acoperiș: structură de lemn; izolație de 12 cm; strat de 2 mm de PVC; 15 cm de amestec de pământ cu argilă expandată; iarbă sălbatică







■ Locuință în Rosdorf

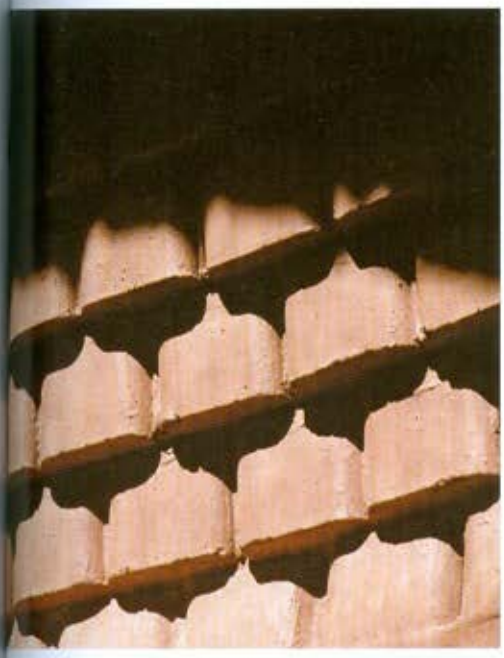
În împrejurimile rurale cu acoperișuri în două ape, acoperite cu țiglă, se remarcă imediat această casă prin învelitoarea plană înierbată, panourile solare care acoperă șarpanta și grădina de iarnă pe două niveluri. În interior surprinde camera de locuit centrală cu o cupolă din pământ pe două niveluri, care sprijină pe un contur octogonal din grinzi din lemn lamelar. La etaj această cupolă cu un diametru net de 6m este aparentă pe exterior și distribuie în mod uniform lumina care pătrunde prin luminator în spațiul perimetral înconjurat de dormitoare și băi.

O scară conduce către o zonă de observație în mansardă, de unde se poate admira priveliștea către acoperișul înierbat al grădinii de iarnă încadrat de peisaj. Pereții exteriori cu o grosime de 36,5cm sunt realizați din zidărie din cărămizi ușoare de pământ cu putere mare termoizolatoare (λ=0,11), la interior fiind tencuiți cu lut. Pereții interiori sunt în general din zidărie aparentă de cărămizi de lut, pentru a obține capacitatea maximă a calității de echilibrare a umidității interioare.

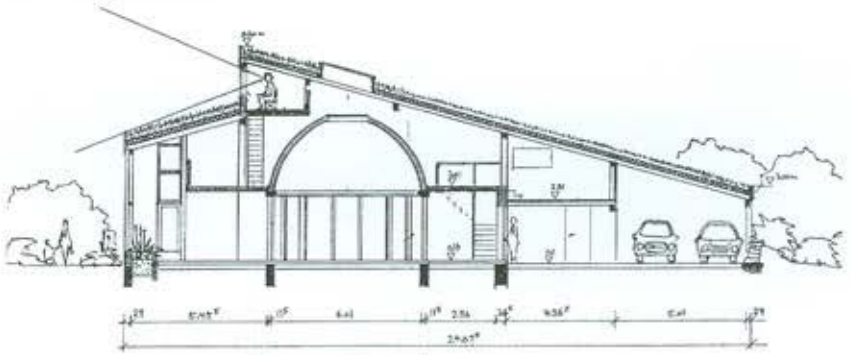
Acoperișul se compune din barieră contra vaporilor, 30 cm termoizolație, o membrană contra rădăcinilor (fără PVC), 15 cm strat vegetal ușor și vegetație (iarbă / plante sălbatice).

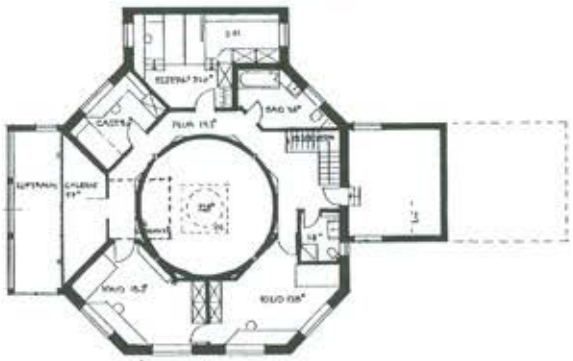
Peste depozit și locul de parcare se află un acoperiș mare cu celule solare de 55m^2 cu o putere instalată de 6000Waţi. Peste o magazie separată de unelte s-a amplasat un acoperiș cu colectori solari de 16m^2. O sobă încălzește camera de locuit și poate după nevoie să completeze încălzirea pe bază de dispozitive solare.

Clădirea este o construcție cu consum redus de energie, cu un necesar termic de 49 kWh/m^{2}a. Necesarul de energie termică a fost calculat la 16 000 kWh pentru o suprafață încălzită de 327 m^2. Acesta a fost acoperit în prima jumătate a anului 2002 26% din dotările solare și 74% din soba pe bază de lemne. Pereții exteriori ating o valoare U de 0,28 W/m^{2}K, iar acoperișul, fără a considera stratul înierbat, 0,18 W/m^{2}K. Acesta aduce un efect suplimentar termoizolant deloc de neglijat, dar la efectuarea calculului nu a fost inclus. Dacă ia în considerare un substrat ușor de 15 cm și învelitoarea de iarbă, s-ar putea ajunge la



o valoare pentru acoperiș de 0,10 până la 0,14 W/m²K.
Folosirea pasivă a energiei solare prin intermediul grădinii de iarnă, care are o mare capacitate de acumulare de energie termică prin pardoseala de piatră naturală și pereții din zidărie aparentă de cărămizi nearse, contribuie pozitiv la bilanțul energetic. Panourile fotovoltaice produc anual un surplus de cca 4000 kWh, care este direcționat în rețeaua publică. Astfel se amortizează costurile echipamentelor în puțini ani.

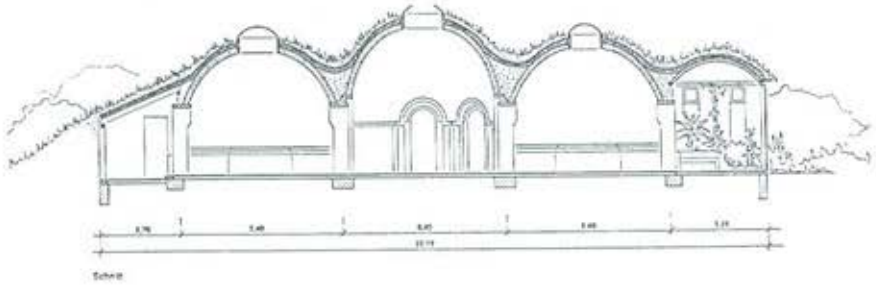


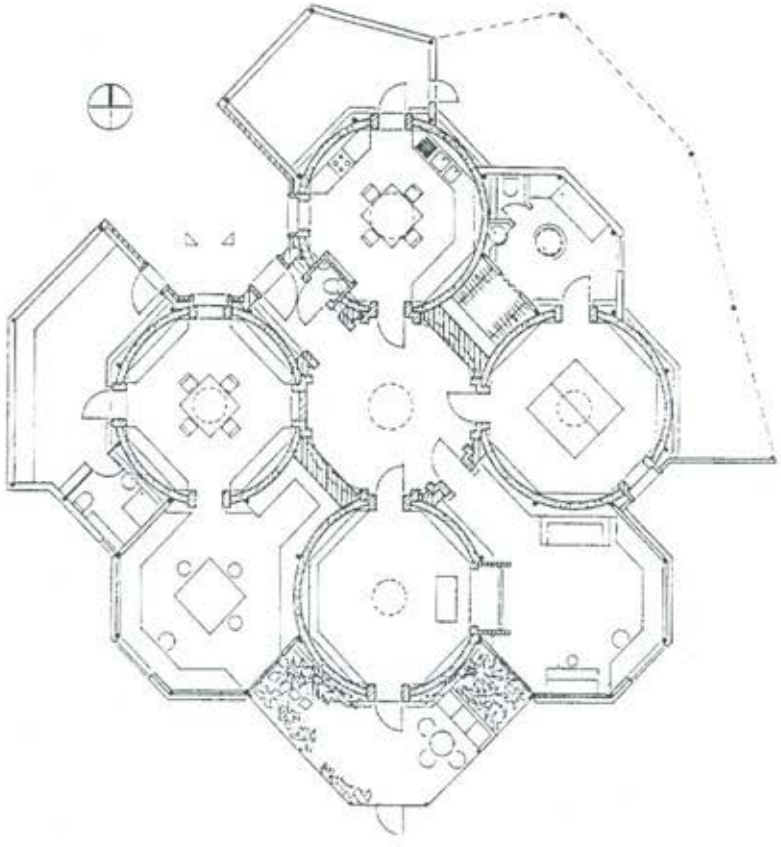


Plan etaj

Plan parter

Arhitect: Gernot Minke, Kassel
Tobias Weyhe, Quedlingburg
Suprafața locuibilă: 273 m²
Realizată: 2001

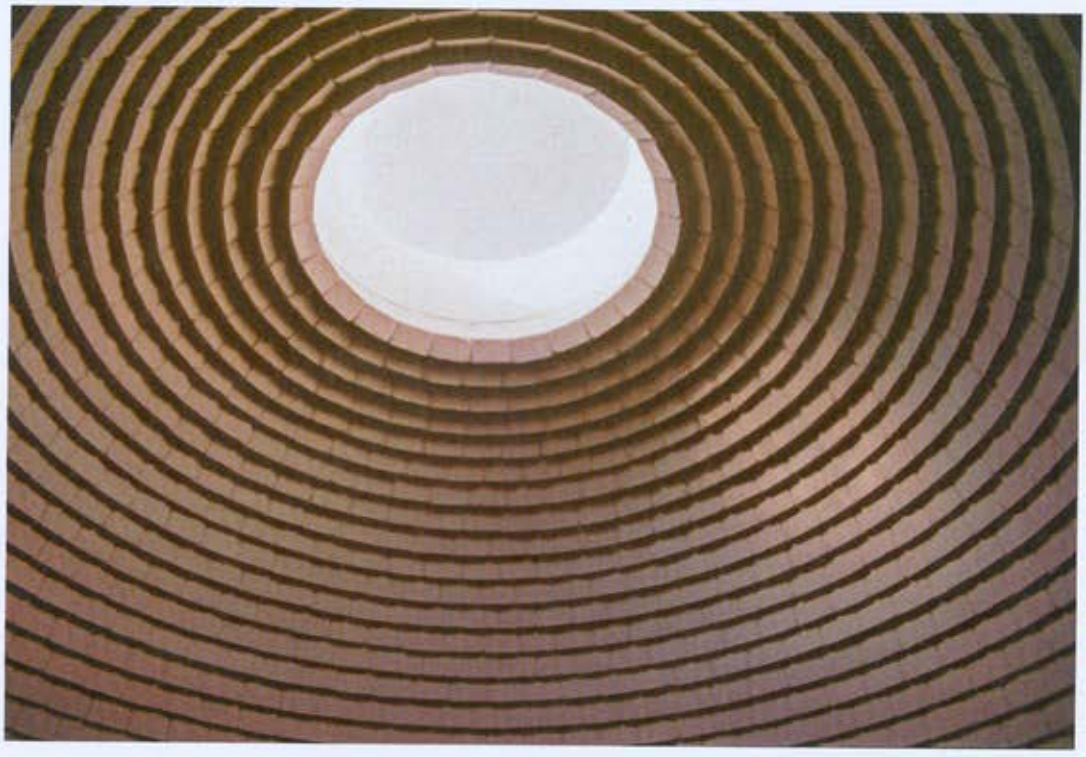




■ Reședință și birou, Kassel, Germania

O reședință tip office a fost construită în 1992 într-o suburbie a orașului Kassel din Germania, conform standardelor ecologice. Toate camerele principale, baia și grădina de iarnă sunt acoperite cu cupole de pământ. Intrarea e alcătuită din 3 arcade făcute din cărămidă maro, așa cum este explicat în capitolul 14. Intrarea principală este acoperită de o cupolă cu o deschidere de 5.2 m și o înălțime de 4.6 m, ceea ce conferă o lumină naturală puternică filtrată prin cupola de sticlă acrilică dublă. După acest culoar, urmează alte patru camere cu acoperiș tip cupolă. Toate camerele au aceeași deschidere, cu o înălțime de 4 m, fiecare prevăzută cu o lucarnă și o fereastră la înălțime normală. Construcția acestor cinci cupole a fost realizată cu ajutorul ghidului rotativ descris în capitolul 14. Deși cupola centrală începe de la o înălțime de 1.75 m și cupolele pentru celelalte patru camere de la o înălțime de 0.75 m, nu sunt necesare grinzi inelare, structura fiind concepută astfel încât toate forțele rezultante să se intersecteze în a doua treime a fundației. Cupolele băii și a grădinii de iarnă sunt realizate sub forma unor hexagoane neregulate care au fost construite folosindu-se o tehnică afgană de construcție a cupolelor (vezi capitolul 14), constând în arcuri înclinate la un unghi de 40-60° față de orizontală.
Deschiderea sub forma de ochi rămasă

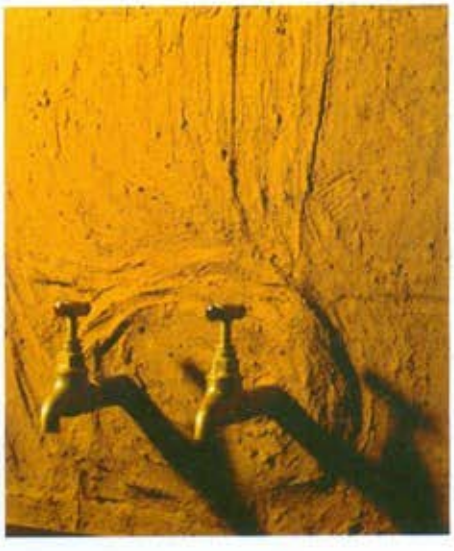
17



odată cu atingerea punctului în care cele două seturi de arcuri se intersectează este acoperită cu sticlă la un unghi de deschidere a arcurilor de 90°.
Toate cupolele sunt acoperite cu un strat suplimentar de zid de piatră de 20 cm grosime pentru o mai bună izolare termică, urmat de un strat de 2 mm de membrană plastică rezistentă la apă. Aceasta e acoperită de un strat de pământ de 15 cm, care acționează ca o pătură împotriva înghețului sau a secetei. Casa are un singur nivel și o suprafață construită de 216 m^2, incluzând grădina de iarnă. Pereții, policioarele și obiectele sanitare sunt acoperite cu tuburi umplute cu pământ și chiar chiuveta băii este făcută din lut nears (vezi p.132-133).

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania
Terminată în 1993
Suprafața: 155 m^2 (casa) + 61 m^2 (birou).

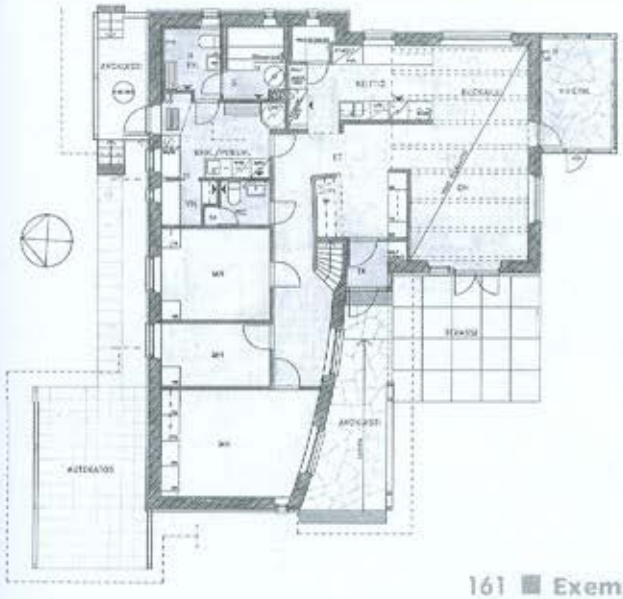
Kassel, Germania

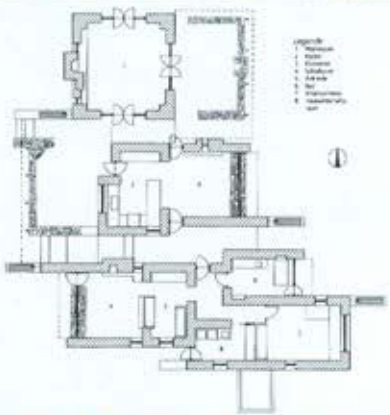


■ Reședință, Turku, Finlanda

Clădirea are două nivele și este situată la marginea orașului, găzduind o familie cu cinci membri. Sistemul de structură al pereților se bazează pe un schelet de lemn. Pereții exteriori sunt făcuți din cuburi prefabricate de argilă și paie cu o grosime de 40 cm. Greutatea lor specifică este de 450kg/m^2. Aceste blocuri sunt acoperite cu scânduri de lemn sau tencuială de var. Valoarea U a pereților este de 0.28W/m^{2}K.

Arhitect : Teuvo Ranki, Turku, Finlanda
Terminată în: 1999
Suprafața: 127 m^2.





■ Locuință în Tucson, Arizona, USA

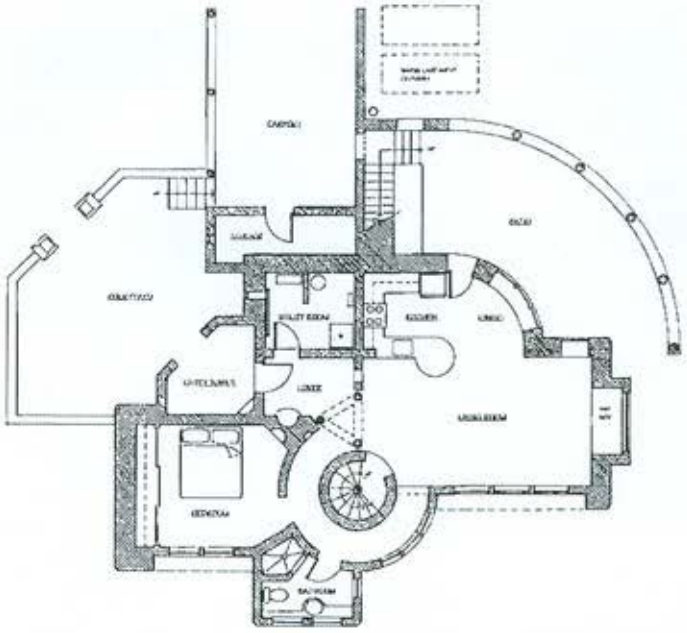
Clădirea este alcătuită din trei corpuri cubice, ale căror pereți din argilă compactată cu maiul, groși de 60 cm sunt ridicați astfel încât acoperișul înclinat este ascuns optic.
Locurile de odihnă din exterior sunt umbrite de zidurile de pământ prelungite. Pereții de lut nu sunt prelucrați nici la exterior nici la interior, argila folosită este stabilizată cu ciment în cantitate foarte redusă, la atic însă cu adaos crescut de ciment. Prin faptul că în cofraj straturile superioare de argilă sunt compactate mai puternic se realizează texturarea orizontală a suprafeței pereților.

Arhitect: Paul Weiner, Tucson

■ Casita Nuaanarpoq în Taos, New Mexico, USA

Camerele sunt grupate în jurul unei scări centrale de culoare roşu închis, vizibilă şi din exterior. Energia necesară casei se obţine cu ajutorul celulelor voltaice. Datorită colectării pasive a energiei solare de geamurile frontale, a zidului masiv din lut din interior, precum şi prin izolarea termică asigurată de pereţii din exterior, făcuţi din baloţi de paie, se poate controla uşor temperatura din această casă, aşezată în deşert, unde sunt diferenţe de temperatură mari.

Arhitecţi: Edge Architects; Ken Andreson, Pamela Freund, Taos, NM, USA
Terminată în: 2004
Parter: 140 m^2

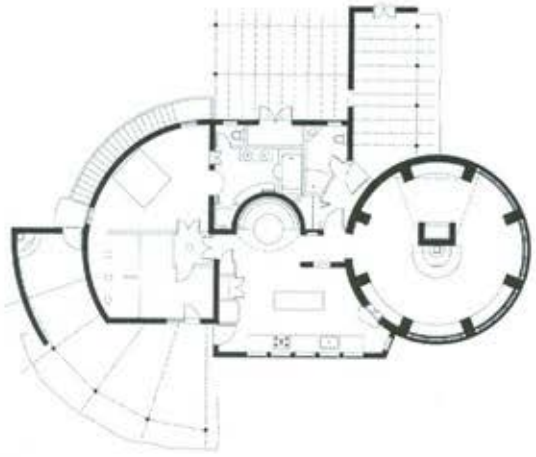


FIRST FLOOR PLAN

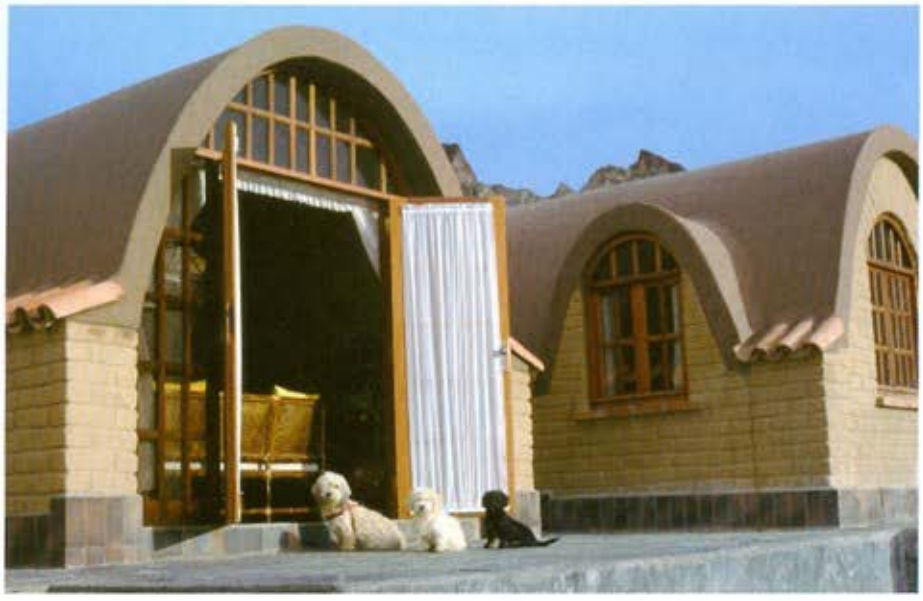
■ Reședință în Des Montes New Mexico, USA

Locuința rurală se află în apropiere de Taos, într-un ținut cu o lungă tradiție a arhitecturii de tip „adobe". O cameră de locuit circulară cu o sobă centrală, o bucătărie și două terase mari acoperite formează parterul. La etaj se află două dormitoare precum și o zonă de oaspeți și terase deschise către peisaj.
Toți pereții sunt alcătuiți din cărămizi realizate manual, nearse (tip adobe) și tencuiți cu lut. Folosirea pasivă a energiei solare precum și colectorii pentru apă caldă oferă

necesarul de energie termică, alături de soba centrală. Apa pluvială colectată de pe acoperiș folosește irigării grădinii.

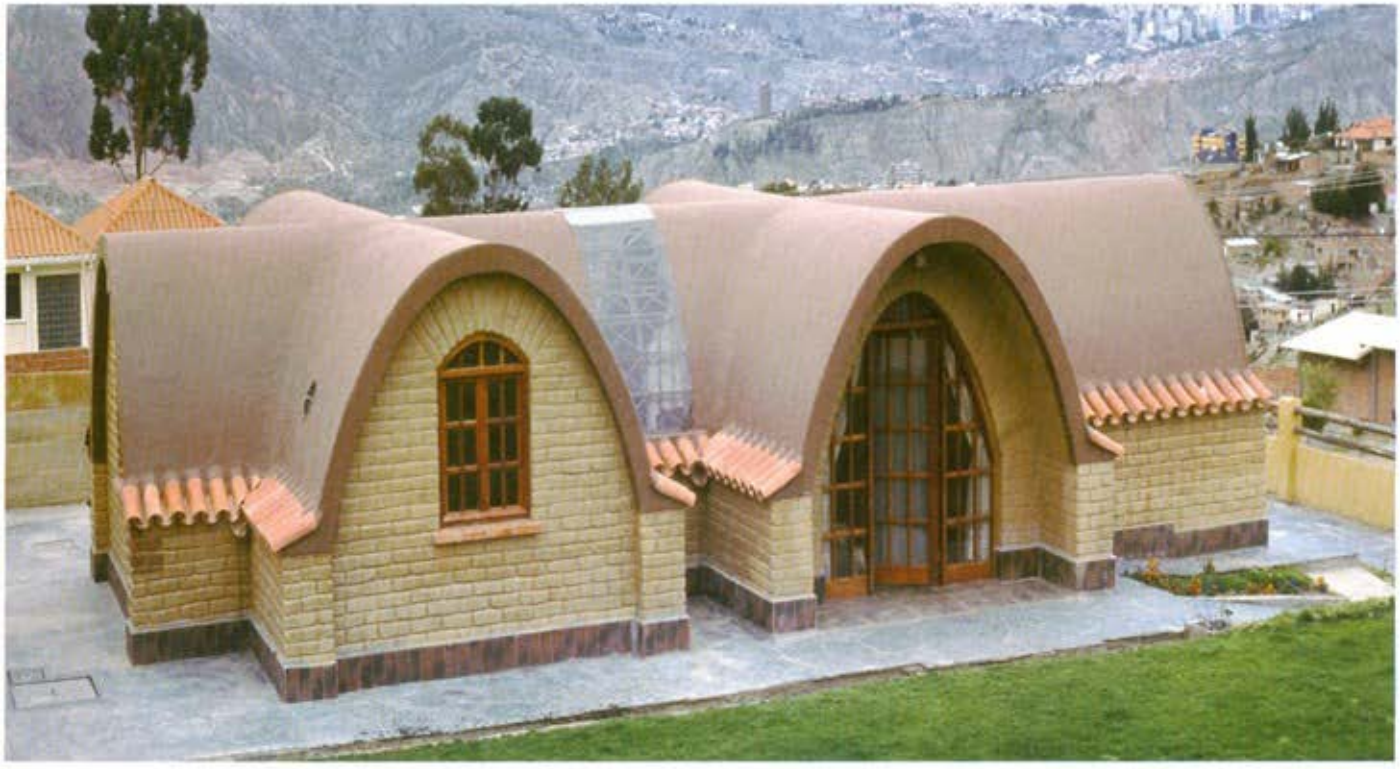


Arhitect: Joaquin Karcher, Taos, SUA
Realizată: 2004
Suprafața locuită: 204m²



■ Reședință, La Paz, Bolivia

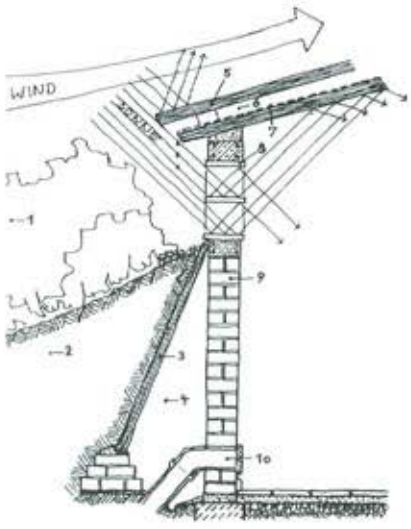
Reședința este situată la marginea capitalei Boliviei la o înălțime de 3 700 m deasupra nivelului mării. Este construită din chirpici făcuți manual și este alcătuită din trei bolți. Bolțile cu o grosime de 30 cm oferă protecție împotriva radiațiilor solare. Acest lucru înseamnă că razele solare intră în camere după amiază și seara, când temperatura este joasă. Bolțile au o tencuială de pământ acoperită cu vopsea acrilică elastică, care reprezintă un scut împotriva ploii.

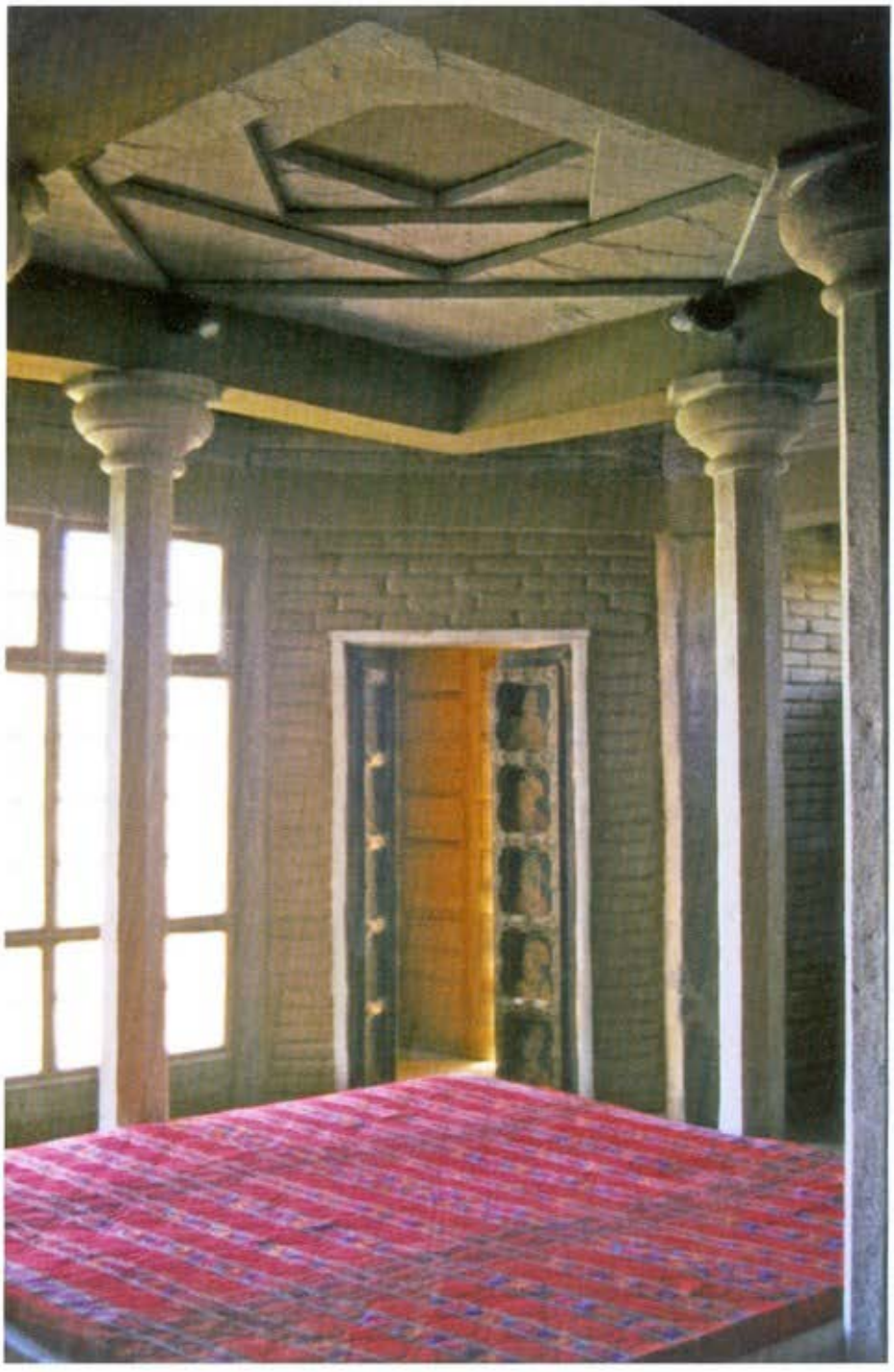


Arhitect : Raul Sandoval, La Paz, Bolivia
Finalizată : 1999
Suprafața: 84m2

■ Fermă, Wazirpur, India

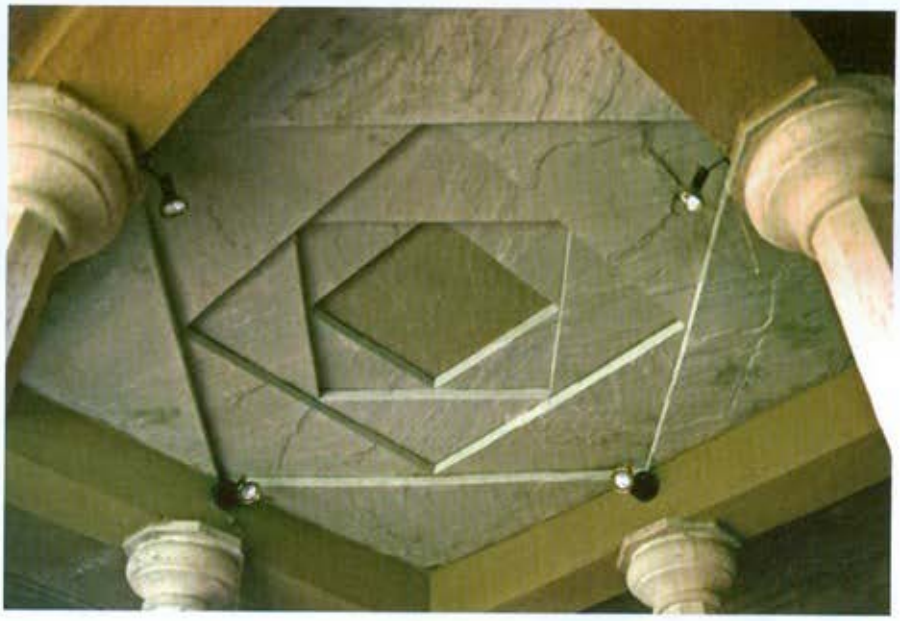
Casă cu un singur nivel construită pe o suprafață de 206m² (incluzând veranda) este amplasată pe o bucată de pământ din partea de nord a lacului. Partea sudică este expusă soarelui în timpul iernii și este umbrită în timpul verii prin streșini și canale de ventilație. Camerele sunt aranjate în jurul unui patio central conținând un mic lac cu plante. Acest lucru facilitează ventilarea tuturor camerelor și aerisirea lor prin evaporare. Planul casei e format din pătrate și octogoane. Structura casei este formată din coloane de piatră care sprijină grinzile și plăcile de piatră ce formează o împrejmuire bombată de-a lungul tuturor camerelor.
Acoperișul de piatră de culoare deschisă de deasupra acestei structuri creează o cavitate, reflectând razele soarelui și asigurând umbra acoperișului subțire de dedesubt.
Pereții sunt construiți din chirpici (blocuri de nămol făcute manual). Acolo unde solul acoperă partea externă, o cavitate de aer



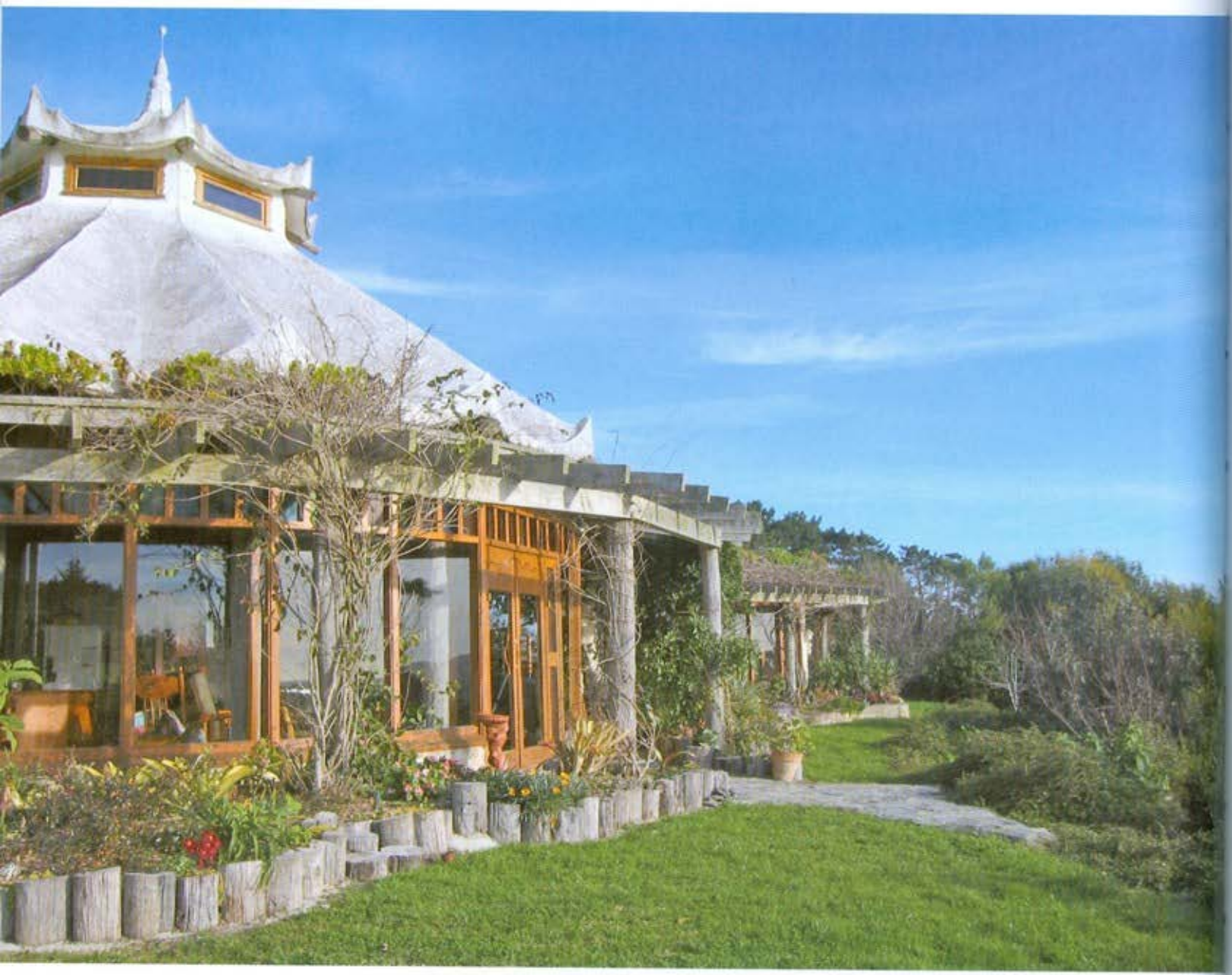


1 Tufişuri pentru devierea vântului
2 Depozitare de pamânt pentru reglarea climei
3 Placă din piatră nisipoasă (sanstone), pentru prelucrarea presiunii pamântului
4 Spaţiu (aerat) pentru izolare
5 Placă de piatră nisipoasă, luminoasă, pentru reflexia razelor solare şi ca protecţie împotriva intemperiilor, pentru acoperit
6 Spaţiu cu aer pentru izolare
7 Acoperiş bituminos
8 Plăci de piatră nisipoasă deschisă la culoare ca element de umbrire şi pentru reflexia lumnii, dar, în acelaşi timp, contra intrării prin efracţie
9 Zid din chirpici pentru reglarea umidităţii, aerării camerei, şi pentru păstrarea căldurii
10 Climatizare printr-un sistem de tunele subterane

se formează prin înclinarea unor lespezi de piatră sprijinită de pereţi. Toate suprafeţele exterioare ale clădirii au cavităţi de aer, streşini sau canale de ventilaţie pentru perioada de vară. Canalele de ventilaţie din piatră de la toate ferestrele sunt proiectate pentru a prelua şi funcţiile unei grile metalice de securitate, asigurând în acelaşi timp atât umbră, cât şi reflectarea luminii în camere pe timp de ziuă.
Pe perioada verii este disponibil, de asemenea, un sistem suplimentar de canale de aerisire prin pământ pentru toate camerele. Distanţa de la ventilatorul de 2kW până la perete este de 60 m. Secţiunea constă în două viaducte făcute la o adâncime medie de 3 m sub pământ. Puterea maximă a aerului este menţinută la 6m/sec. Elementele climatizării pasive sunt prezentate în desenul alăturat.



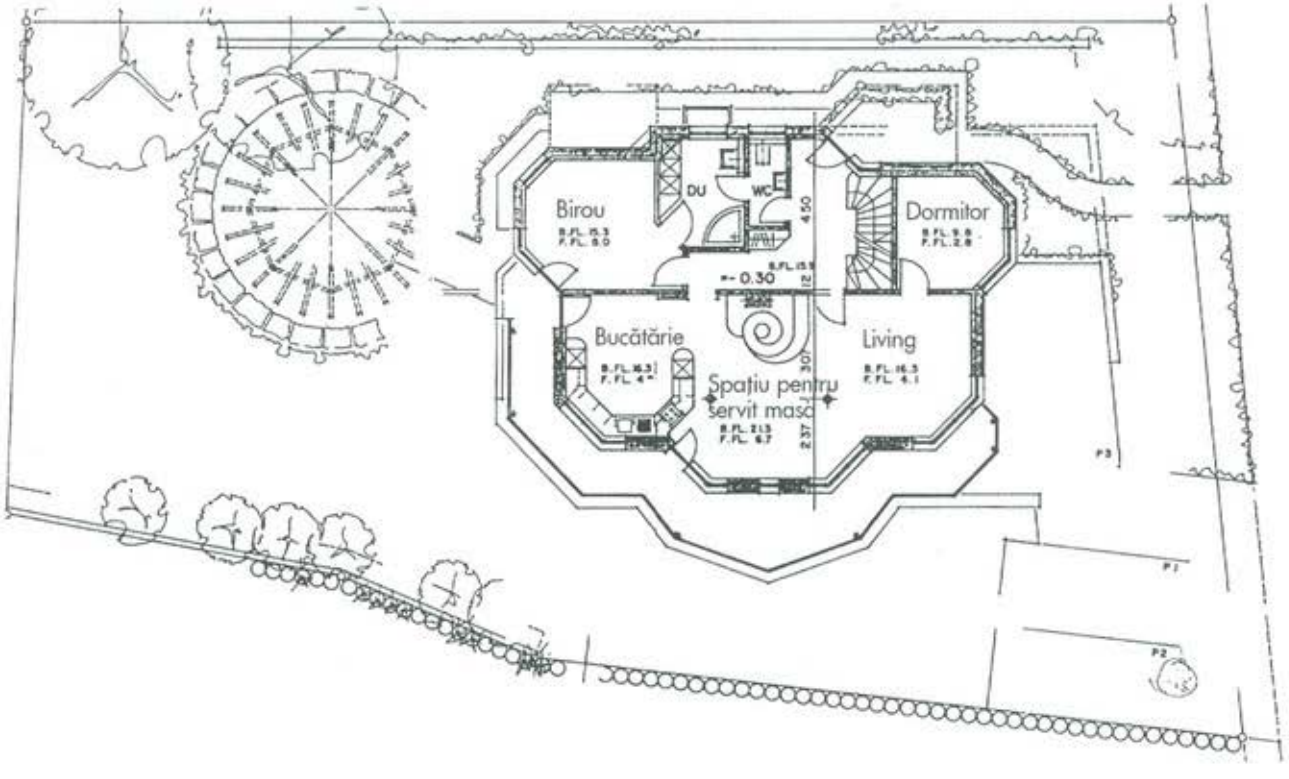
Arhitecți: Gernot Minke, Kassel, Germania
și DAAT, New Delhi, India.
Finalizată în 1993.
Suprafața: 206 m^2.
Pereți: Coloane de piatră
cu umplutură de chirpici
Acoperiș: Strat dublu de plăci de gresie
cu cavități de aer



■ Reședință Helensville, Noua Zeelandă

Pentru această casă de 180m² au fost necesari 9 ani de muncă. Structura a fost construită din cherestea reciclată, iar chirpiciul a fost făcut manual cu pământ din zonă. Pardoselile sunt din pământ sau cherestea reciclată. Geamurile fațadei asigură încălzire solară pasivă. S-au instalat un foc din lemne pentru gătit, apă fierbinte și căldură suplimentară. Proprietatea prezintă multe elemente ecologice. Casa dispune de o toaletă fără apă și o moară de vânt ce direcționează apa către gradină.

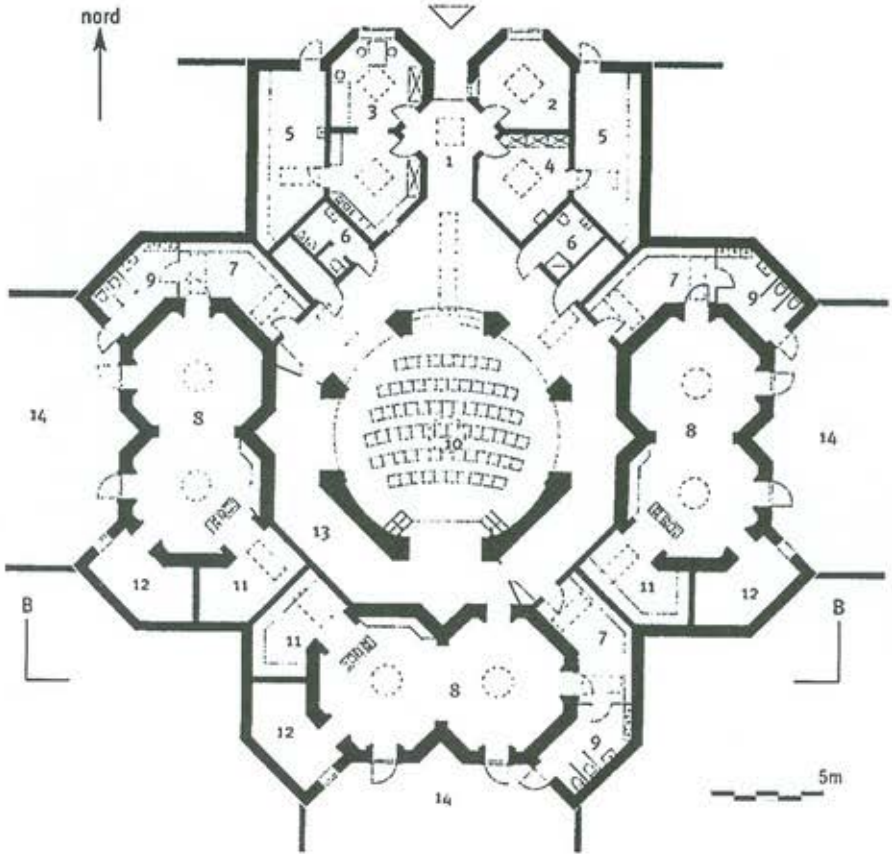
Arhitecți: Graeme North, Warkworth, Noua Zeelandă
Constructori: Collen și John Brown
Terminată în: 2005
Suprafața: 180 m²


Birou
DU
WC
Dormitor
Bucătărie
Living
Spațiu pentru
servit masa
P1
P2
P3

■ Casa pentru trei familii, Stein pe Rhine, Elveția

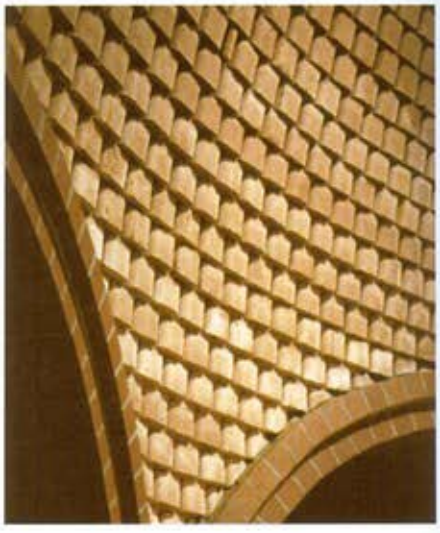
Clădirea are o structură schelet pe trei niveluri cu contravântuiri diagonale. Pereții exteriori au o tencuială de var peste o construcție de dale cu lemn ușor, după care urmează spre interior un strat de 12 cm de celuloză pentru izolație. În cadrul pereților exteriori mai există un strat de 20 cm grosime de lut bătătorit și așchii de lemn îmbrăcate într-o tencuială de lut. Fațada expusă vremii este prevăzută cu placări de lemn ventilate. Pereții interiori sunt umpluți cu chirpici. Acoperișul de țiglă și balconul exterior asigură umbrirea camerelor din partea sudică vara și expunerea acestora la soare iarna.

Arhitect :Michael Nothelfer,
Überlingen, Germania
Finalizată: 1997
Suprafața nivel de bază: 82m^2
Parter: 118m^2
Mansardă: 108m^2

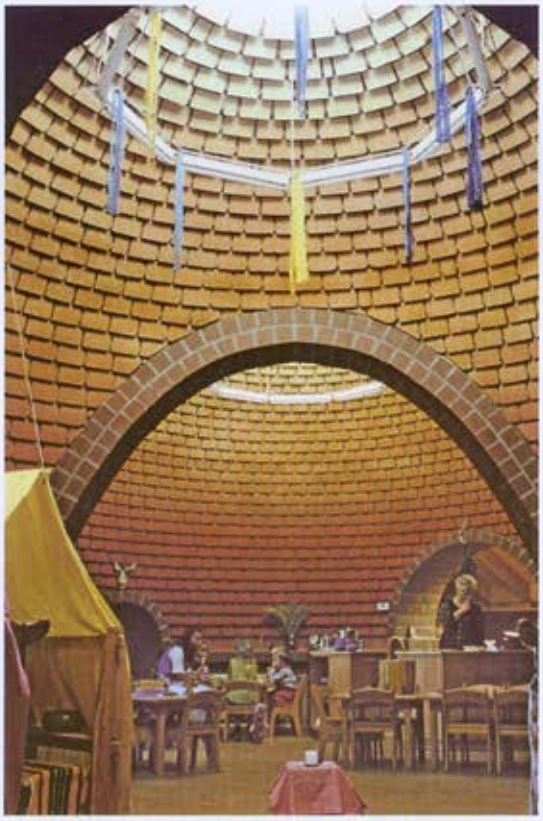


■ Grădiniță în Sorsum, Germania

Grădinița are o cupolă centrală, construită din cărămizi de lut, cu o deschidere de 10 m, deasupra unei săli multifuncționale. Grosimea este de 30 cm. Fiecare din cele trei grupuri de camere este acoperită de două cupole care se întâlnesc printr-o arcă centrală. Acoperișurile camerelor și ale coridoarelor sunt formate din structuri de lemn. Majoritatea pereților exteriori sunt săpați în pământ. Întreaga clădire este acoperită de un strat de pământ de 15 cm grosime și de iarbă. Designul este încadrat în peisaj în mod armonios, rezultatul fiind o clădire cu eficiență energetică mare.
Blocurile de pământ au fost expandate într-o fabrică de cărămizi, suprafața lor fiind rotunjită pentru a oferi un efect acustic pozitiv referitor la distribuția sunetului. Ușoara înclinație spre exterior a blocurilor cauzează un efect de curbare ce elimină concentrarea undelor acustice.



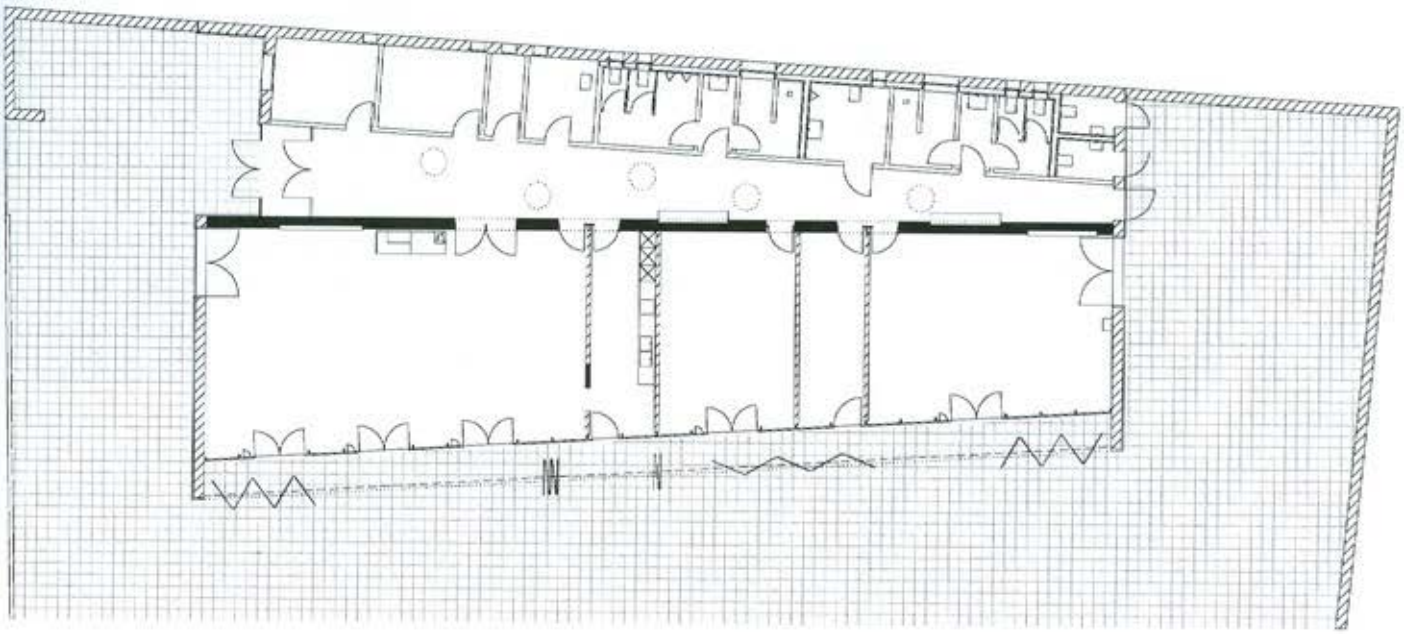
Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania
Finalizată: 1996
Suprafața: 595m²
Pereți exteriori, soclu: cărămizi poroase
Acoperișul: bolți din cărămidă de lut, structura de lemn, acoperită cu 15 cm de lână minerală, material acoperit cu plastic rezistent la apă și ploaie, un strat de 15 cm de iarbă sălbatică.



Centrul de tineret Spandau, Berlin, Germania

Acest centru pedagogic oferă copiilor din zonă precum și tinerilor oportunități pentru activități în timpul liber. Un perete masiv de pământ bătătorit lung de 32.5 m divizează clădirea, conservând energia termică și echilibrând umiditatea atmosferică. Partea sudică furnizează energie solară pasivă. Partea nordică a fost decorată de artiști în graffiti cu participarea tinerilor. Acoperișul verde absoarbe 70% din ploaie, restul se scurge în zona alăturată.

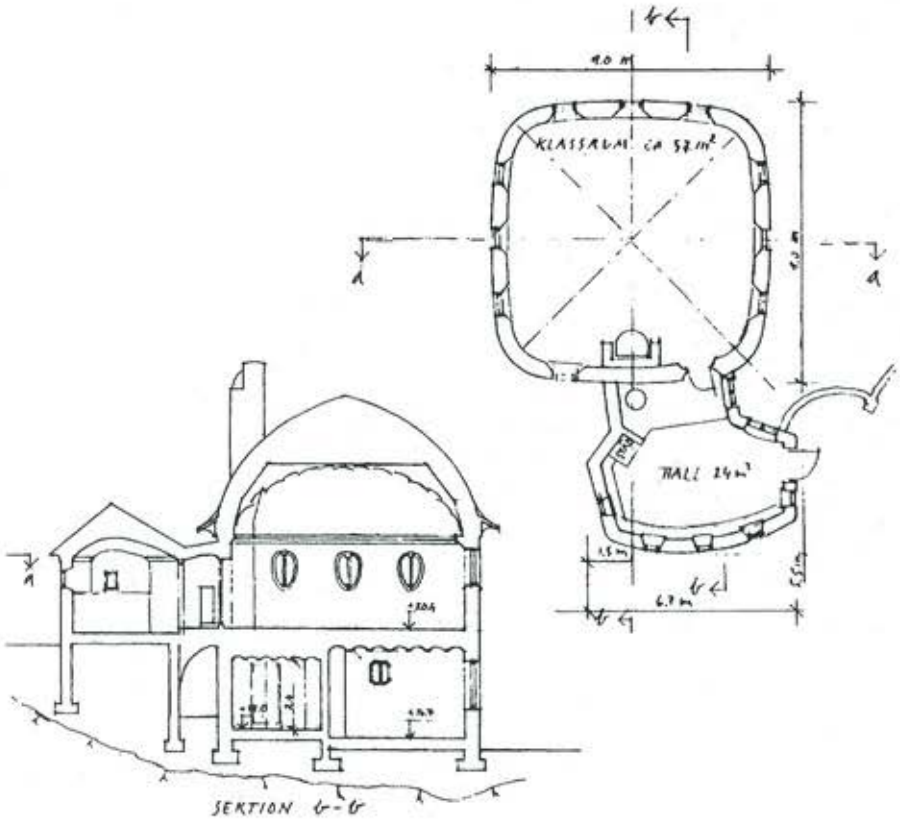
Arhitecți : Herman Scheidt, Frank Kasprusch, Berlin, Germania
Terminat în 2005
Suprafața: 385 m^2



■ Şcoală în Solvig, Jarna, Suedia

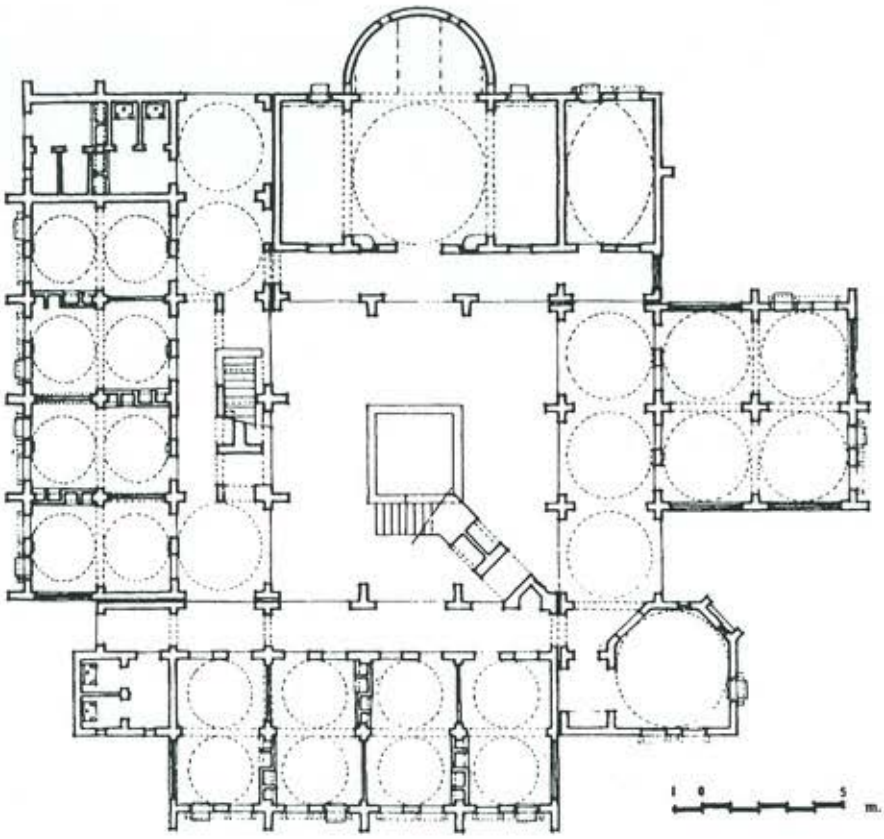
Clădirea pe două nivele aparţine unui complex de clădiri a şcolii Waldorf. Conţine două săli de clasă, fiecare cu un mic hol la intrare. Pereţii de rezistenţă sunt construiţi din două straturi de blocuri de beton uşor de 15 cm lăţime, la intervale de 20 cm, acestea fiind umplute cu perlită pentru izolaţie. Primul etaj are ziduri din bucăţi de lut solid de 50 cm lăţime, iar deasupra are o grindă de lemn de contur. Bucăţile au fost făcute manual din sol argilos din zonă urmând regulile tehnicii lutului lui *Dünne*, descrisă în capitolul 8. Acoperişul este susţinut de o structură de lemn, izolată cu turbă şi acoperită cu şindrile de piatră. Camerele sunt încălzite de şeminee deschise.

Arhitecţi: Mats Wedberg, Hallstavik, Suedia
Terminată în: 1993
Suprafaţa: 140 m^2

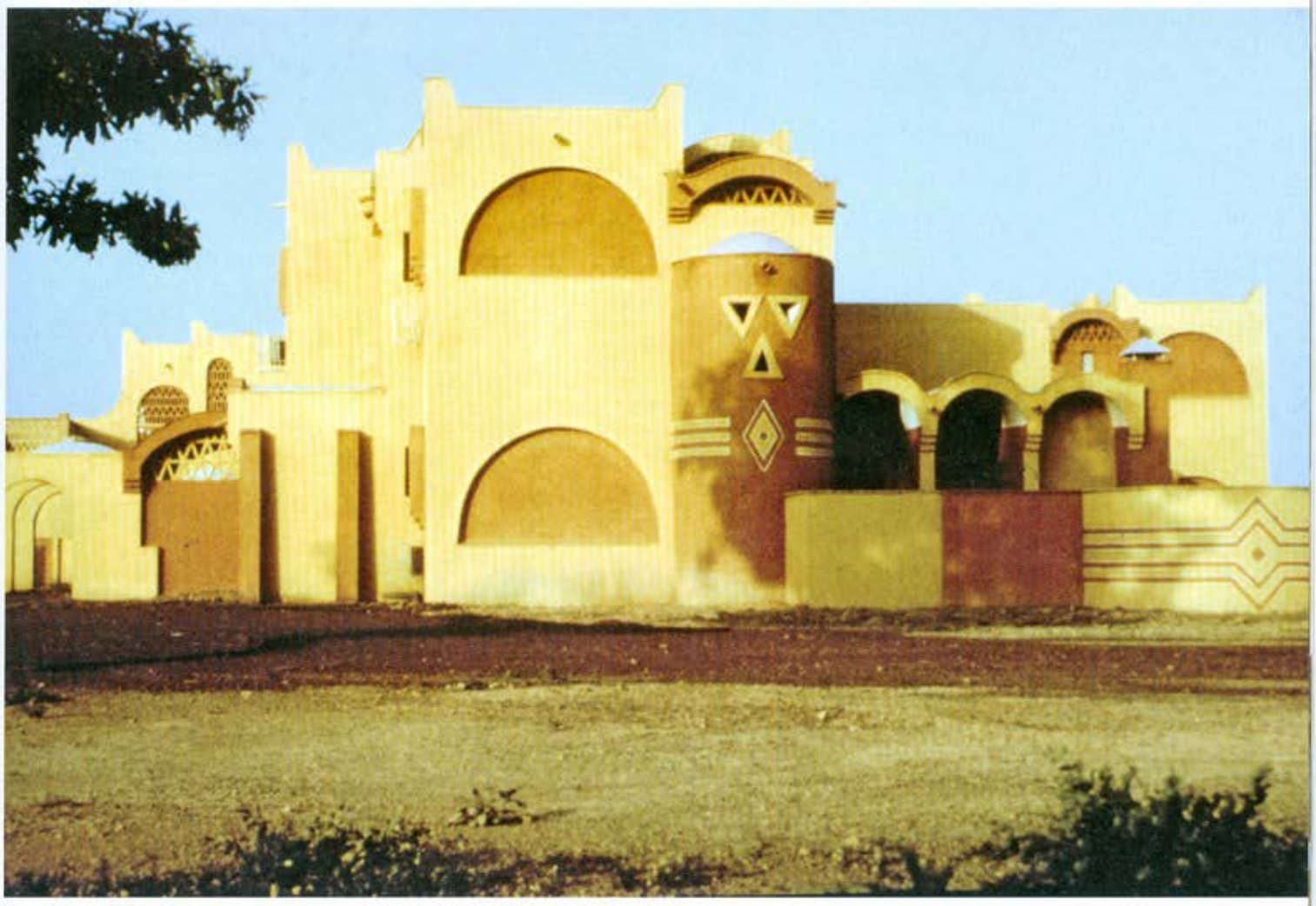


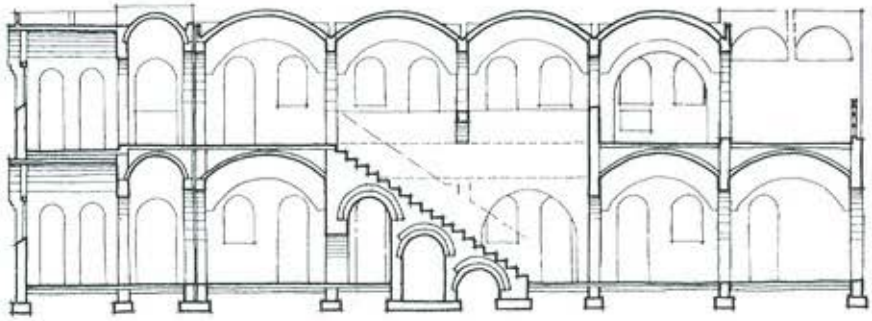
■ Institutul Panafrican pentru Dezvoltare, Ouagadougou, Burkina Faso

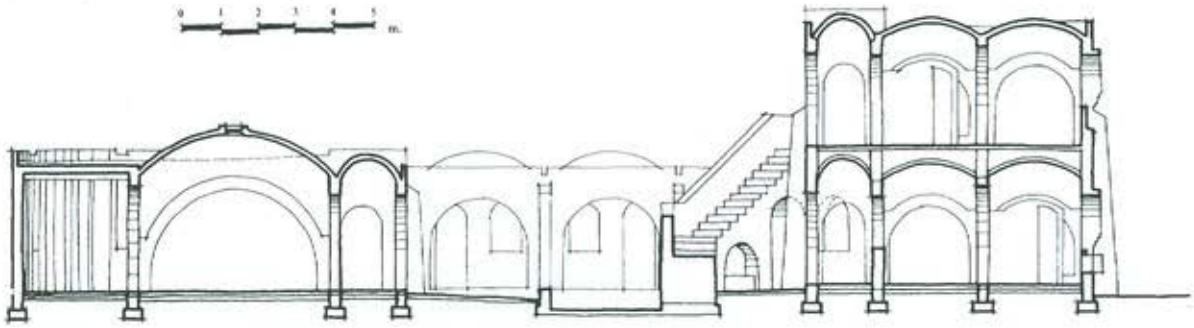
Centrul de cercetare şi training de 5000 m² include trei grupuri de clădiri distincte :
Un centru de predare şi administrativ, incluzând o bibliotecă şi un restaurant cu o capacitate de 72 de locuri pentru studenţi şi case pentru 9 profesori.
Toţi pereţii, toate bolţile şi cupolele au fost construite din blocuri de pământ stabilizat obţinute pe şantier din sol local. Bolţile şi cupolele au fost ridicate conform tehnicii nubiene, fără cofraje. Suprafeţele de la exterior au fost tencuite cu gips nămolos stabilizat cu var şi ciment.
Proiectul a fost demarat în 1981 şi finalizat în 1984. În 1992 a primit Premiul Aga Khan pentru Arhitectură.



Arhitect: Philippe Glauser, Zurich, Inginer elveţian: Ladji Camara
Finanţare: EZE (Evangelische Zentralstelle für Entwicklungshilfe, Bonn-Bad Godesberg), DDA (Direcţia pentru cooperare, dezvoltare şi Ajutor umanitar, Berna), IPD (Institutul Panafrican pentru Dezvoltare).







■ Școală în Rudrapur, Bangladesh

Școala s-a realizat ca un proiect de autosusținere prin folosirea materialelor locale aflate la îndemână precum argila și bambusul. La parter se află trei clase, care sunt legate prin goluri rotunde de un mic spațiu tip „peșteră". La etaj se află două spații mari pentru activități libere. La parter pereții sunt realizați într-o combinație între tehnica umedă locală și tehnica tradițională a paiantei din argilă cu un conținut ridicat de paie de orez. Aceștia păstrează aparentă la exterior această alcătuire. La interior pereții sunt tencuiți cu lut și văruiți. Planșeul este realizat dintr-o structură de bambus cu umplutură de paiantă. Acoperișul este alcătuit dintr-un sistem de cadre portante, cu grinzi și stâlpi. Fațada etajului se închide cu ferestre din lemn, care sunt protejate de obloane din bambus.

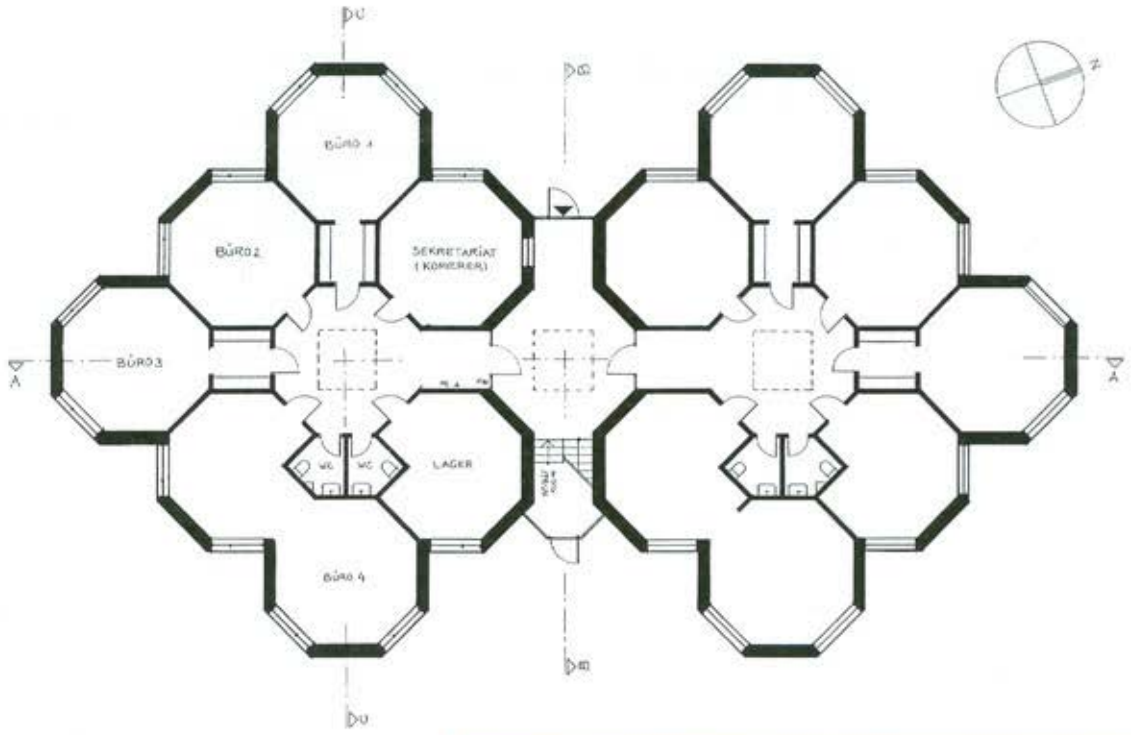
Proiectul a obținut Premiul Aga-Khan 2007.

Proiectat: Anna Heringer, Eike Roswag, Berlin
Consultant: Christoph Ziegert, Berlin
Realizare: 2006
Suprafață: 325m^2
Cost: circa 30 000 Euro

■ Clădire de birouri în Hanovra

În parcul ştiinţific Hanovra a fost construită în 2003 o clădire de birouri, care a fost montată în timp scurt din panouri prefabricate din lemn. Interiorul este caracterizat de materialele lemn şi lut, precum şi de spaţiile octogonale, exteriorul de placajul orizontal din lemn de brad şi de acoperişul înierbat.
Din intrarea centrală se ajunge în spaţiul de primire cu bazine de apă si plante verzi, iar de acolo către casa scării. Până în prezent a fost realizată doar jumătatea de vest ca prim tronson de clădire.

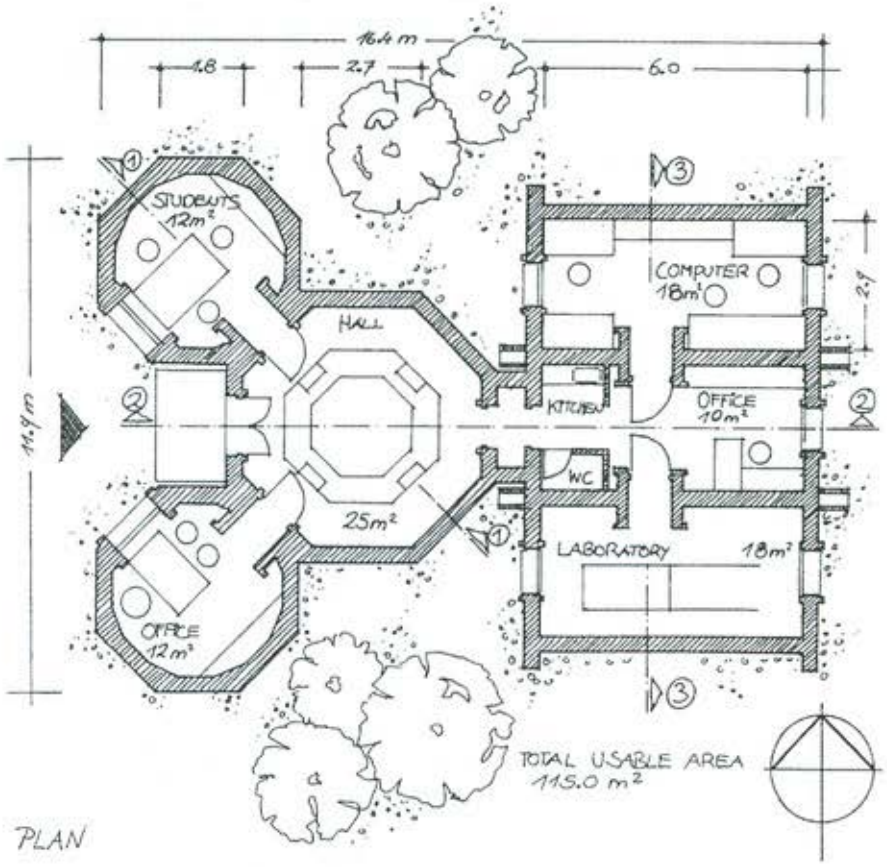
Octogonul regulat ca formă de bază a spaţiilor oferă o atmosferă de siguranţă şi linişte precum şi multiple posibilităţi de organizare a locurilor de muncă. Spaţiile de birouri sunt circumscrise de un spaţiu central octogonal, care foloseşte nu doar ca şi coridor, ci şi ca spaţiu de comunicare. Pereţii din elemente cu ramă din lemn, portante, cu înălţimea unui nivel şi cu lăţimea de 1m au fost montaţi cu o macara. Elementele exterioare sunt pe ambele părţi placate cu scânduri, iar la interior umpluţi cu panouri de lână şi aşchii lemnoase. Un placaj orizontal din lemn cu rosturi suprapuse este folosit ca protecţie contra intemperiilor. La interior elementele de perete sunt placate cu panouri extrudate din lut şi acoperite cu tencuială albă de lut. Elementele cu rame de lemn ale pereţilor interiori au fost ulterior închişi cu cărămizi din lut nearse şi, de asemenea, finisaţi cu tencuială albă de lut. Planşeele sunt alcătuite din elemente prefabricate din lemn încleiat, realizare în sistem tip „Hogan". Acestea se compune din rame de lemn încleiat fiecare rotite una faţă de cealaltă cu 45°, care în câmpurile triunghiulare formate astfel sunt acoperite cu panouri din scânduri încleiate. La etaj anumite spaţii sunt prevăzute cu luminatoare tip piramidă, care asigură în special un iluminat uniform, armonic al încăperiilor.



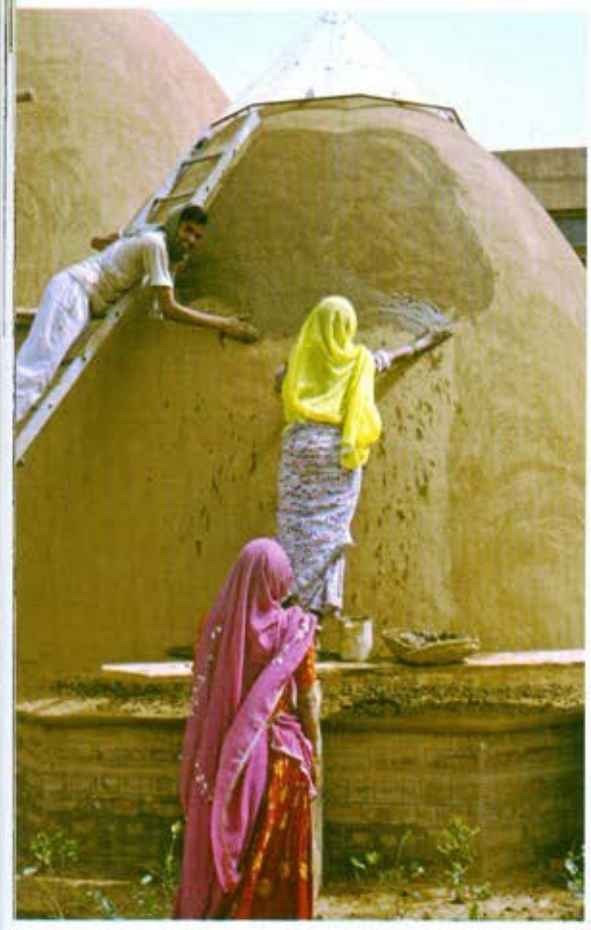
Încălzirea se realizează cu o centrală termică pe gaze.
Sistemul de încălzire din perete montat într-un panou prefabricat din argilă folosește temperaturi scăzute pentru radiația termică. Acesta poate la nevoie pe timp de vară să funcționeze ca sistem de răcire și să elimine căldura în exces din încăperi.

Arhitect: Gernot Minke, Kassel
Tobias Weyhe, Quedlinburg
Realizată: 2003

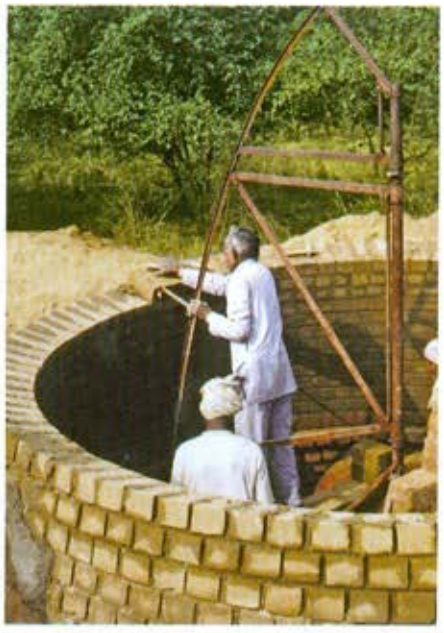
■ Clădire de birouri, New Delhi, India



PLAN

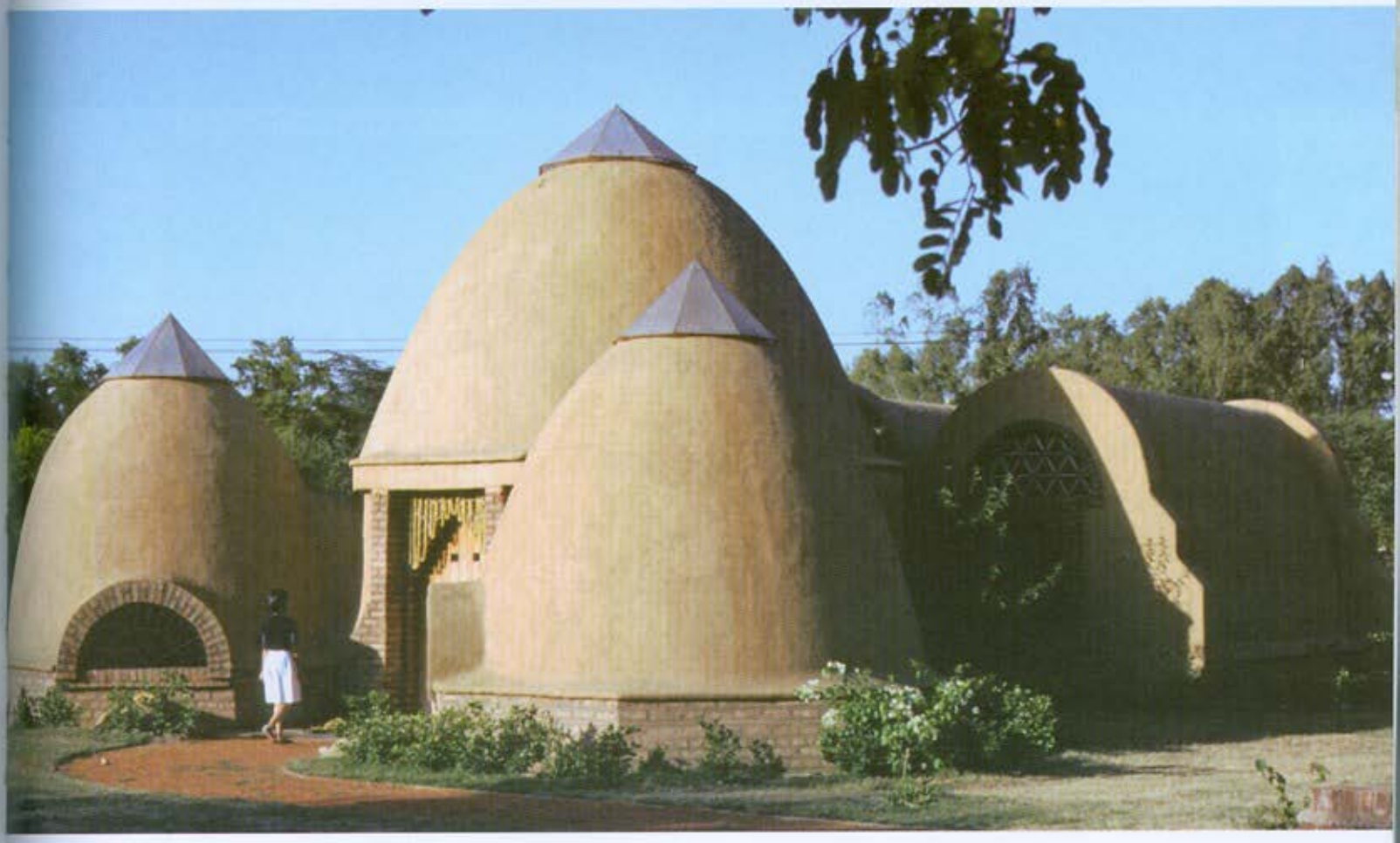


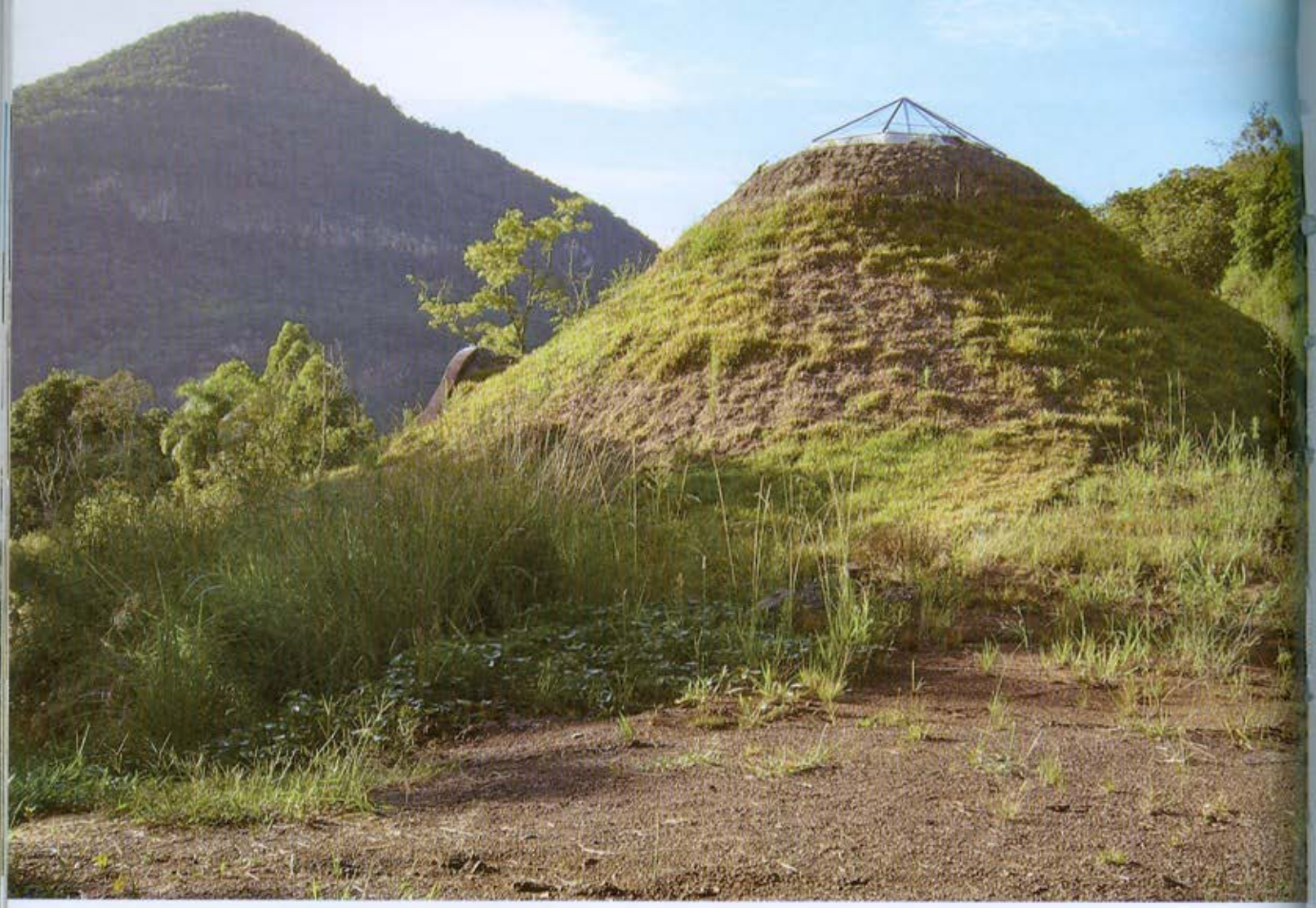
Fundaţie şi plinta : Caramizi arse
Pereţi verticali şi cupole : Blocuri de pământ stabilizat
Bolţi: Chirpici manual stabilizat
Tratarea suprafeţei : Mortar cu bălegar şi lut rezistent la apă
Lucarna: Sticlă acrilică cu deschideri pentru ventilaţie naturală



Această clădire de birouri a fost construită pentru a se dovedi superioritatea calitativă a camerelor cu bolţi şi cupole făcute din blocuri de pământ, în ceea ce priveşte climatul interior, dar şi costurile de construcţie reduse în comparaţie cu clădirile tradiţionale cu acoperişuri plane din beton.
Acest proiect a fost construit ca parte integrantă a unei lucrări de cercetare, proiect de dezvoltare sponsorizat de agenţia germană Gate/GTZ.
Clădirea include suficient spaţiu pentru birouri şi laboratoare pentru un grup de cercetare, pe o arie de 115 m^2.
Holul central funcţionează ca o cameră multi-funcţională pentru seminare, întâlniri şi expoziţii.
Cele trei bolţi au fost construite din blocuri de pământ folosind un cofraj glisant rotativ, inventat de Laboratorul de Cercetare în Construcţii de la Universitatea Kassel din Germania (vezi p.127). Blocurile de pământ au fost produse cu ajutorul unei prese operate manual.
Pentru încălzire şi răcire a fost instalat un sistem de tunele în pământ. Condiţiile climaterice impun răcirea camerelor începând din aprilie până în septembrie şi încălzirea acestora din decembrie până în februarie. În acest scop, a fost instalat un sistem de ţevi ceramice pe o lungime de 100 m, la o adâncime de 3.50 m, prin care aerul ambiental este ventilat de două ventilatoare. Aerului ventilat i se imprimă temperatură aproape constantă a pământului de aproximativ 25°C, ceea ce corespunde cu temperatura anuală medie. Acest aer ajută la răcirea clădirii în sezonul cald şi la încălzirea acesteia în sezonul rece.
Economia de energie se ridică la aproximativ 38000 kWh pe an, adică aproximativ 2/3 din total. Economiile costurilor de construcţie în comparaţie cu o clădire convenţională cu acoperiş plan din beton se ridică la 22%.

Arhitect şi supervizor: Gernot Minke, Kassel, Germania
Colaborator: R. Muthu Kumar, New Delhi
Concept energetic: N.K. Bansal, New Delhi, India
Data terminării: 1991
Suprafaţa: 115 m^2





■ Hală multifuncțională în Picada Café, Brazilia

În centrul de seminarii „Integria" din Picada Café, un mic loc din regiunea Rio Grande do Sol din Brazilia, s-a realizat prima cupolă din lut acoperită cu un acoperiș înierbat din America.
Din exterior cupola arată precum o colină încoronată de o piramidă din sticlă acrilică, care noaptea, luminată din interior, apare ca un cristal strălucitor. Înăuntru se află un spațiu sacral de 65m² care este folosit pentru dansuri religioase, muzică, spațiu de meditație și adunări. Cupola din cărămizi nearse este realizată pe soclu de 1m înălțime din cărămidă arsă și are un diametru net de 9,07m și o înălțime liberă de 6,70m.
Cupola a fost realizată cu tehnica rotativă dezvoltată de Laboratorul de Cercetare pentru Construcții Experimentale FEB Kassel. Cărămizile din lut speciale pentru acustică au fost finisate manual. Acestea au colțurile rotunjite pentru a realiza un efect de difuzie a sunetului și sunt ușor înclinat zidite pentru a împiedica efectul de concentrare a sunetului. Rosturile sunt intrate pentru a absorbi sunetul.
Rezultatele sunt convingătoare: cupola are o acustică fascinantă. Cărămizile de lut sunt ușor conice pentru că reduce consumul de mortar din rosturile verticale și prezintă 3 găuri , care servesc puncte de manevrare pentru a ușura procesul zidirii și, în același timp, reduc greutatea și măresc efectul termoizolant.
Vestibulul cu loc pentru încălțămintea de stradă este realizat cu bolți de lut. Intrarea în încăperea cupolei are formă circulară si prezintă un prag.
Pe din afară cupola este tencuită cu lut, acoperită cu o membrană bituminoasă peste care este așezată o folie de polietilenă cu grosime de 0,2mm cu rol de separare. Pentru a împiedica alunecarea vegetației, respectiv a pământului, deoarece înclinarea suprafeței ajunge la 45°, cupola a fost acoperită cu „saibro", un pământ ușor cu particule mari de origine vulcanică. Peste acesta a fost așternută iarba.
Pardoseala a fost realizată din pământ presat, care a fost ordonat în câmpuri în formă de stea delimitate prin lemn de esență tare. Stratul superior este alcătuit din mortar de

lut stabilizat cu gunoi de grajd și diferențiat colorstic cu oxizi de fier galben respectiv roșu. Pentru creșterea rezistenței la abraziune suprafața a fost tratată cu ceară.

Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania
Suprafața utilă: 75m²
Realizată: 2005

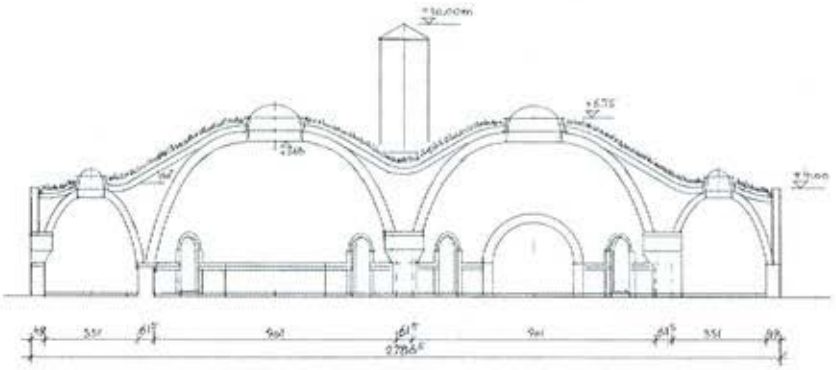
■ Capela Reconcilierii, Berlin, Germania

Capela este aşezată la graniţa ce separa odată Berlinul de Est şi de Vest, pe locul unde s-a situat Biserica neo-Gotică a Reconcilierii, demolată de guvernul Est-german de atunci. Interiorul are o formă ovală şi este delimitat de un perete de pământ bătătorit de 7.2 m înălţime şi 0.6 m grosime. Acoperişul şi partea exterioară, făcută din stâlpi de lemn aşezaţi pe verticală, formează un al doilea oval configurat excentric în relaţie cu primul. Peretele din pământ bătătorit conţine bucăţi mari de cărămidă spartă provenind de la biserica veche, care împreună cu pietrişul constituie 55 % din material. Argila este prezentă în proporţie de 4%. Acest amestec dur, granulat, cu o umiditate minimă de 8.1% reduce contracţia materialului la numai 0.15 %. Cu un nivel de umiditate de 50% şi o temperatură de 20 %, conţinutul echilibrat de umezeală a lutului este de 0.7%. Prin adăugarea unui amestec de fibre de in şi prin compactare intensă cu o rolă pentru bătătorire, s-a obţinut o forţă de compresie de 3.2 N/mm^2 (măsurată cu 20x20x20 cm cubi). Din cauza unghiului mereu schimbător s-a impus folosirea unui cofraj special mai complex.

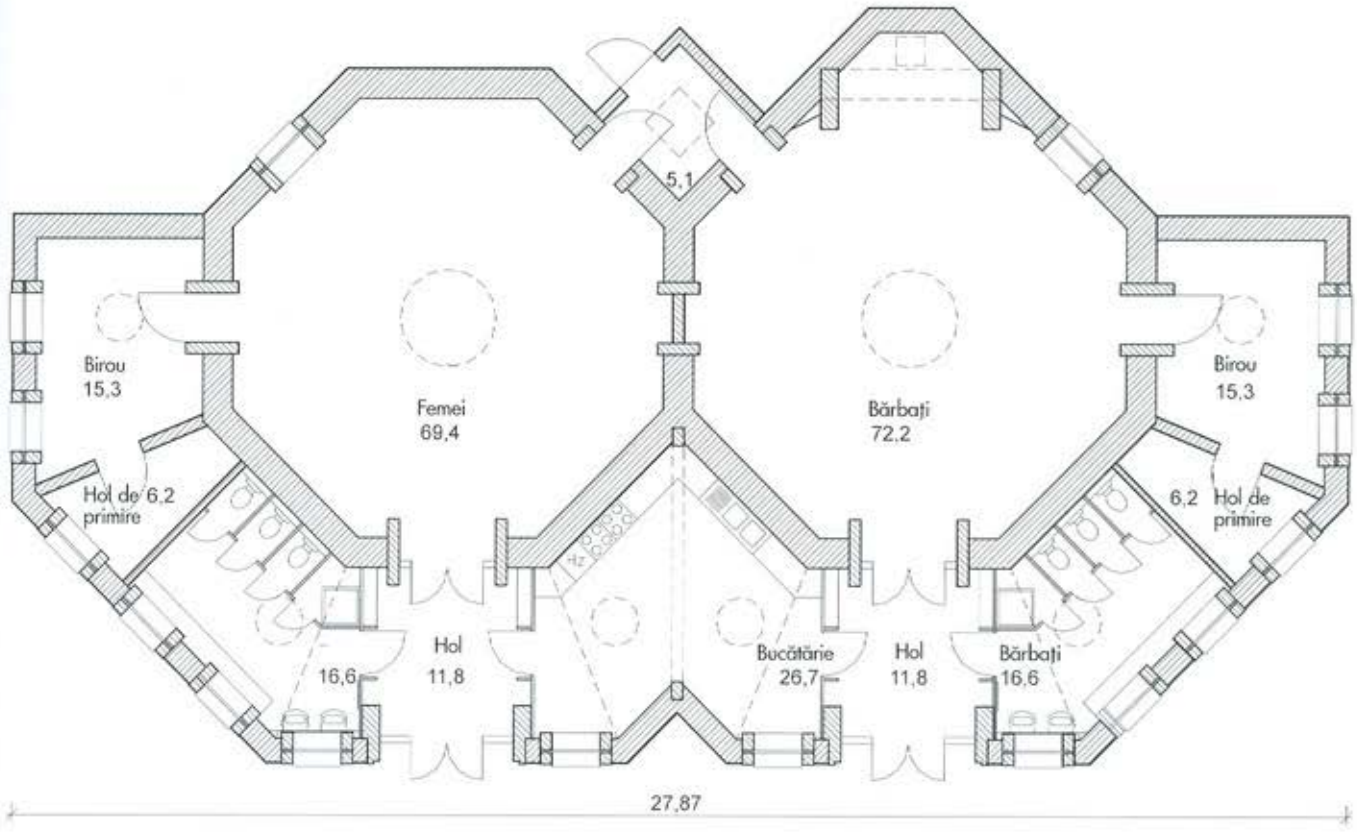
Arhitecţi: Reitermann + Sassenroth, Berlin, Germania
Terminat în 2000
Suprafaţa: 315 m^2

■ Moschee, Wabern, Germania

Începută în 2005, această moschee cu două camere circulare cu diametrul de 9 m, fiecare acoperită de câte o cupolă, este în construcție în orașul Hessian Wabern. Este prima moschee având cupole și bolți din blocuri de lut nears și acoperită cu un acoperiș verde, respectiv de pământ și iarbă. Cupola mare este construită cu blocuri rotunjite pentru o acustică mai bună, așa cum este explicat în cap. 6, p.68. Secțiunea transversală a cupolei este optimizată în așa fel încât nu vor apărea forțe circulare, iar grosimea zidurilor va fi de numai 30 cm.



Arhitect: Gernot Minke, Kassel, Germania
Suprafața: 273 m²
Realizată: 2007



Perspective de viitor

În zonele cu climat rece, este posibil ca arhitectura din pământ să nu joace rolul dominant pe care îl joacă deja în regiunile mai calde. Datorită condițiilor climaterice și a standardelor înalte de izolare termică din Europa Centrală și de Nord, de exemplu, pereții exteriori necesită izolare termică externă adițională. Pe de altă parte, în zonele cu climat cald și moderat de pe toate continentele, pereții exteriori pot fi construiți din lut care nu trebuie acoperit. Aceștia oferă un climat interior superior și sunt mai economici decât pereții făcuți din piatră naturală, cărămizi arse și beton.

Cu toate acestea, se construiește tot mai mult folosind lutul în zonele cu climat rece din Europa și America. Aceasta datorită respectului pentru mediul înconjurător și a conștientizării faptului că materialele industriale nu numai că necesită un consum mare de energie; ci consumă și resursele naturale producând poluare. Un alt factor este dorința de a trăi într-un mediu interior echilibrat și sănătos.
În țările în curs de dezvoltare, unde și azi, mai mult de jumătate din populație trăiește în case din pământ, casele moderne nu sunt de obicei construite din pământ, ci din materiale de construcții industriale precum cărămizile arse, ciment beton și panouri prefabricate cu diverse compoziții. Chiar și aici, se recunoaște faptul că cererile imense de adăposturi nu pot fi onorate folosindu-se materiale și tehnici de construcție industriale, din moment ce lipsesc atât capacitățile de producție, cât și resursele financiare necesare. Singura soluție fezabilă este folosirea materialelor de construcție naturale, disponibile local, tehnicile și uneltele aflate la îndemâna oricui, pământul fiind în acest caz materialul de construcție ideal.
În aceste regiuni, în special în cele cu climat cald și moderat, un număr tot mai mare de clădiri moderne au deja pereți din chirpici sau blocuri de pământ stabilizate. Pentru crearea de adăposturi cu costuri reduse în aceste regiuni, unde acoperișul poate ajunge până la o treime din totalul costurilor de construcție, folosirea blocurilor de pământ pentru construirea bolților și cupolelor este promițătoare, deoarece aceste tipuri de structuri pot fi mult mai economice decât acoperișurile industriale creând, în același timp, un climat interior mai bun, datorită caracteristicilor termice și a posibilităților superioare de ventilație și izolare fonică.
În viitor, tehnicile de construcție dezvoltate recent și testate cu succes ar trebui adaptate și implementate în țări în care nu au fost încă testate. Pentru răspândirea acestor tehnici ar trebui să se ofere îndrumare și cursuri de formare.
Aplicabilitatea acestor tehnici va trebui demonstrată nu numai în cadrul proiectelor rezidențiale, ci în special prin crearea de adăposturi ieftine, clădiri publice, spitale, școli și clădiri de birouri. Astfel se va demonstra faptul că, dacă este folosit corect, pământul este un material rezistent și economic, foarte accesibil și ușor de manevrat, din care se pot face clădiri impunătoare.
Construirea zidăriei din chirpici, din blocuri de pământ uscate la soare, nearse, va fi în continuare o tehnică răspândită, pentru că asemenea tehnici pot fi folosite de zidarii din toate părțile lumii fără o pregătire prealabilă. Bolțile și cupolele din chirpici reprezintă o alternativă economică și structural valabilă a acoperișurilor obișnuite plane sau ușor înclinate din metal, azbest, ciment sau beton armat. Cu siguranță, acestea vor fi mai des folosite atunci când se va înțelege adevăratul lor potențial.
Tehnica pământului bătătorit este potrivită pentru un climat moderat și cald, fiind de asemenea economică, în special dacă este folosit un echipament adecvat și o tehnologie mecanizată.
Știința construirii unor clădiri rezistente la cutremure din chirpici și pământ bătătorit ar trebui răspândită mai ales în zonele predispuse la cutremure. S-a dovedit că în multe cazuri, prăbușirea unor clădiri în timpul cutremurelor nu a fost cauzată de folosirea pământului ca material de construcție, ci mai degrabă de proiectarea structurală și lucrările defectuoase.
În țările industrializate din zonele cu climat moderat se vor folosi tot mai des elemente prefabricate din lut ușor și tencuieli de lut pentru pereții interiori. În Germania, Austria și Olanda, mai multe tipuri de astfel de elemente au devenit tot mai folosite pe o piață care înregistrează o dezvoltare continuă.

Măsurători

În această carte, toate măsurătorile cu privire la lungimi, arii, precum și valori fizice sunt bazate pe sistemul metric. Echivalentul anglo-saxon al valorii U (ce descrie conductivitatea termică în Europa Centrală) este valoarea R, care a fost adăugată în paranteză. În acest context, trebuie amintit faptul că valorile R se bazează pe sistemul metric.
Pentru a le permite cititorilor să convertească valorile în sistemul imperial care este folosit pe scară mare în America de Nord, am specificat cei mai importanți factori ai conversiunii după cum urmează:

Lungimi și arii

1 mm = 0,039 37 inch
1 cm = 0,393 7inch
1m = 39,37 inch

1 m^2 = 10,764 picior pătrat
1 ha = 2,471 acres

1.inch = 2,54 cm
1picior = 30,48 cm

1 picior pătrat = 0,093 m^2
1 acru = 0,404 7 ha

Valori fizice

Temperatura
Centigrade (Celsius) - Fahrenheit
Multiplicați cu 9/5 și adunați 32

°C	°F
-10	14
0	32
10	50
20	68
30	86

Valorile R și U

Toate valorile R și U din această carte se raportează la sistemul metric. Pentru conversia sistemului metric (USI, RSI) în sistemul imperial (U, R) este necesară folosirea factorilor:

R x 0,176 1= RSI
RSIx 5,678 3= R

Valorile U sunt reciprocele valorilor R respective și viceversa.

USI(W/m^2K)	RSI (m^2K/W)	U (BTU/hr * sq. ft. * °F)	R (hr * sq. ft. * °F/BTU)
0,1	10	0,018	56,78
0,15	6,667	0,026	37,86
0,2	5	0.035	20,39
0,3	3,333	0,053	18,93
0,5	2	0,080	11,36
1,0	1	0,176	5,68

Bibliografie de referință

Aslam, M.; Satiya, R.C: „A Technique of Waterproofing Mud Walls." *Building Materials Nota* Nr. 14. Central Research Institute, Roorkee, India.

Bardou, P.; Arzoumanian, V: *Archi de terre.* Paris, Franța, 1978.

Beckert, J.: „Wirkung von Verunreinigungen der Raumluft auf den Menschen," în: Beckert et al. (ed.): *Gesundes Wohnen.* Dusseldorf, Germania, 1986.

Boemans, U.: *Sanierung und Umnutzung einer Fachwerkscheune.* University of Kassel, Germania, 1990.

Bourgeois, J.-L: „Traditional Adobe is Illegal în New Mexico," în: *Adobe Journal* Nr. 5/1991, p. 47.

Cointeraux, F.: *Schule der Landbaukunst.* Hild-burghausen, Germania, 1793.

CRATerre: *Construire en terre.* Paris, Franța, 1979.

CRATerre: *Compressed Earth Block: Production Guidelines.* GTZ, Eschborn, Germania, 1991.

Dehn, W: „Lehmziegel der Hallstattzeit (6. Jh v. Chr.)," în: *Der Museumsfreund* No. 4/5, 1964, pag. 54-61.

Department of Housing and Construction (ed.): *Earth-wall Construction. EBS Bulletin* Nr. 5. Canberra, Australia, 1981.

Dalokay, Y: *Lehmflachdachbauten în Anatolien.* Dissertation. Technical University of Braunschweig, Germania, 1969.

Elias, P.: „Le Bilan energetique de quelques parois de batiment," în: *Cahier du Centre Scientifique et Technique du Bailment* No. 213, Oct., 1980.

Easton, D.: *The Rammed Earth House.* White River Junction, USA, 1996.

Fathy, H.: *Natural Energy and Vernacular Architecture.* Chicago/Londra, USA/Marea Britanie, 1986.

Gilly, D.: *Praktische Abhandlung aus der Lehm-baukunst betreffend den Bau der sogenan-nten Lehm- oder Wellerwande, wie man dieselben dauerhaft mit wenigen Kosten und einer wahren Holzersparung auffuhren konne.* Berlin, Germania, 1787.

Gilly, D.: *Beschreibung einer vorteilhaften Bauart mit getrockneten Lehmziegeln.* Berlin, Germania, 1790.

Gilly, D.: *Handbuch der Land-Bau-Kunst.* Braunschweig and Halle, Germania, 1800 and 1822.

Gotthard, H.: „Uber physikalische Eigenschaften des Baustoffes Lehm," în: *Naturbauweisen* 5/1949.

Grandjean, E.: *Wohnphysiologie.* Zurich, Elveția, 1972.

Guntzel, J.G.: *Zur Geschichte* ctes *Lehmbaus în Deutschland.* Dissertation. University of Kassel. Staufen, Germania, 1988.

Hofmann, U.; Schembra, F.W. et al.: „Die Trocken-biegefestigkeit von Kaolinen und Tonen," în: *Berichte der Deutschen keramischen Gesellschaft,* vol. 44 (1967), H.4, pag. 131-140.

Houben, H.; Guillaud, H.: *Earth Construction Primer.* Bruxelles, Belgia, 1984.

Ingles, O.G.; Metcalf, J.B.: *Soil stabilisation.* Sydney, Australia, 1972.

International Labour Office (ed.): *Small-scale manufacture of stabilised soil blocks.* Geneva, Elveția, 1987.

Jain, J.P.; Kulshrestha, R.P; Singh, I.: *A New Technique of Making Thatch Fire Retardent. Technical Note.* Central Building Institute, Roorkee, India, 1978.

Karsten, R.: *Bauchemie fur Studium und Praxis.* Haslach, Germania, (7th edition) 1983.

Keefe, L: *Earth Building: Methods and Materials, Repair and Conservation.* Londra, Marea Britanie, 2005.

Knofel, D.: *Bautenschutz mineralischer Baustoffe.* Wiesbaden, Berlin, Germania, 1979.

Kunzel, H.: „Die hygrothermische Beanspruchung von AuBenputzen," în: *Bauphysik* (Berlin) vol. 4/1990, pag. 104-109.

Letzner, T; Stein, J.: *Lehm-Fachwerk.* Cologne, Germania, 1987

Manandhar, R.: „Mud brick dome and vault construction.. .," în: *Proceedings of the First International Earth Sheltered Buildings Conference.* August 1-6, Sydney, 1983, p. 371-375.

Marme, W; Seeberger, J.: „Der Primarenergieinhalt von Baustoffen," în: *Bauphysik* No. 5/1982, pag. 155-169 and No. 6, p. 208-214.

McCann, J.: *Clay and cob buildings.* Aylesbury, Marea Britanie, 1983.

McHenry, P.G.: *Adobe and rammed earth* bu;7cI-/hgs. New York, USA, 1984.

McHenry, P.G.: *The Adobe Story: A Global Treasure.* Albuquerque, USA, 2000.

Middleton, C.F.: *Build your house of earth.* Victoria, Australia (ediție revizuită), 1979.

Miller, T; Grigusch, E.; Schuize, K.W.: *Lehmbaufibel.* Weimar, Germania, 1947.

Minke, G.: „Earthquake resistant low-cost houses utilising indigenous building materials and intermediate technology," în: *Proceedings, International Symposium on Earthquake Relief în Less Industrialized Areas. March 28-30, 1984.* Zurich, Elveția, 1984.

Minke, G.: „Design and Construction of Energy and Cost Saving Vault and Dome Structures," în: *Proceedings of the International Symposium ofHassan Fathy for Architecture for the Poor, April 20-22, 1993.* Cairo, Egipt, 1993.

Minke, G.: „Humidity Control/Balancing humidity fluctuations," în: Bansal, Hauser, Minke: *Passive Building Design, A Handbook of Natural Climatic Control.* Amsterdam, Netherlands, 1994, p.180-188.

Minke, G.; Mukerji, K.: *Structurally Optimized Domes - A Manual of Design and Construction.* Braunschweig, Germania, 1995.

Minke, G.: *Earth Construction Handbook.* Southampton, Marea Britanie, 2000.

Minke, G.: Da5 *neue Lehmbau-Handbuch.* Staufen, Germania (6th edition), 2004.

Minke, G.: *Construction manual for eartquake-resistant houses built of earth.* Eschborn, Germania, 2002.

Minke, G.; Mahike, F.: *Building with Straw.* Basel, Berlin, Boston, Germania, 2005.

Mohler, K.: „Grundlagen der Holzhochbaukon struktionen," în Gotz, K.-HJ.; Hoor, D et al.: *Holzbauatlas.* Munchen, Germania, 1978.

Mukerij, K.: *Soil Block Presses.* GTZ, Eschborn, Germania, 1986.

Mukerij, K.: 5o/7 *Block Presses: Product Information.* GTZ, Eschborn, Germania, 1988.

Niemeyer, R.: *DerLehmbau und seine praktiche Anwendung.* Hamburg, Germania, 1946.

OECD, Nuclear Energy Agency: „Exposure to Radiation from Natural Radioactivity în Building Material," în: *Report, May 1979.* Paris, Franța, 1979.

Oliver, M.; Mesbah, A.: „The earth as a material," în: *Proceedings International Symposium on Modern Earth Construction.* Peking, China, 1985.

Pingel, M. and P.: *Bericht uber den Anstrich der Lehmkuppein ihres Hauses în Auroville, Indien.* Document nepublicat, 1993.

Popposwamy G.: *Rural India. Village Houses în Rammed Earth.* Stuttgart, Germania 1979.

Pumpelly, R. (ed.): *Explorations în Turkestan.* Washington, USA, 1908.

Rauch, M.; Kapfinger, O.: *Rammed Earth / Lehm und Architektur / Terra cruda.* Basel, Berlin, Boston, Germania 2001.

Schmitt, C. *Leichtlehmbau.* BPS-I Report, document nepublicat. Universitatea Kassel, Germania, 1993.
Schreckenbach, H.: *Construction Technology for a tropical developing country.* Eschborn, Germania, nedatat.
Smith, R.G.; Webb, D.TJ.: *Small Scale Manufacture of Stabilized Soil Bricks. Technical Memorandum No. 12.* International Labour Office. Geneva, Elveţia, 1987.
Sibtain, S.N.: To *build a village - earthquake-resistant rural architecture.* Parramatta, Australia, 1982.
Stulz, R.; Mukerji, K.: *Appropriate Building Materials.* St. Gallon, Elveţia, 1988
Turowski, R.: *Entlastung der Rohstoff- und Primarenergiebilanz ...* Disertaţie, Universitatea Essen, Germania, 1977. United
Nations Centre for Human Settlements <ed.): *Earth Construction Technology.* Nairobi, Kenia, 1992.
Volhard, F: *Leichtlehmbau.* Karlsruhe, Germania, 1983.
Vorhauer, K.: *Low Cost/Self Help Housing.* Gate Modul 6/6. Eschborn, Germania, 1979.
Voth, B.: *Boden, Baugrund und Baustoff.* Wiesbaden/Berlin, Germania, 1978.
Walker, P.; Keable, R.; Martin, J.; Maniatidis, V.: *Rammed earth: design and construction guidelines.* BREPress, Bracknell, Marea Britanie, 2005.
Wehle, K.: *Werkstoffe und Techniken der Malerei.* Ravensburg, Germania (5th edition), 1985. Weiss, A.: *Angewandte Chemie 75* (1963), p. 755-762.
Weller, K.; Rehberg, S.: *Losungsansatze fur den energie- und rohstoffsparenden Wohnungsbau.* DFG research project, Technical University of Berlin, Germania, 1979.
Yazdani, H.: *Erhohung der Lebensdauer von Lehmbauten în erdbebengefahrdeten Gebieten Afghanistans.* Dizertaţie, Universitatea Kassel, Germania, 1985.
Zogler, O.: *Wohnhauser aus Lehm.* Munchen, Germania, 2004.

Mulţumiri

Autorul doreşte să le mulţumească tuturor studenţilor, asistenţilor şi colegilor care au contribuit la proiectele de cercetare şi dezvoltare din Germania, Argentina, Bolivia, Brazilia, Chile, Guatemala, Ecuador, Ungaria, India, Nigeria şi Russia. Datorită eforturilor acestora volumul de faţă conţine numeroase date şi evaluări ale experimentelor practice.
Mulţumiri speciale asistenţilor cercetători H.G. Merz, Ulrich Merz, Klaus Eckart, Ulla Lustig-Rossler, Kiran Mukerji, Ulrich Boemans, Uwe Jaensch, Dittmar Hecken, Alexander Fischer, Arno Reich-Siggemann, Friedemann Mahlke, Marcio Rosa d'Avila, Ernst Muller, Saskia Baden şi tehnicianului Frank Millies, care a construit majoritatea dispozitivelor şi instrumentelor de construcţie.
Autorul doreşte de asemenea să le mulţumească domnului Pawan Kumar şi doamnei Anke Lubenow, care au ajutat la realizarea schiţelor; lui Ulrich Boemans, Sigrid Koster, Uwe Jaensch şi Friedemann Mahlke, care s-au ocupat de grafică; Grupului Arhiterra care a avut iniţiativa şi a sprijinit traducerea şi publicarea cărţii, Ordinului Arhitecţilor din România şi în mod special d-lui arh. Şerban Sturdza, preşedintele Ordinului Arhitecţilor.

Kassel, noiembrie 2008
Gernot Minke

Autorii ilustraţiilor

Atlas-Copco: *5.77*
Anderson, Ken: *p.166*
Bochow, K.-H.: *6.2*
Breshna: *14.30*
CEPED: *5.26*
Consolid: *6.14*
Dressier, F: *8.8*
Dufter, S.: *7.1,7.2*
Edge Architects: *p. 163*
El Badwan, G.: *14.29*
Fischer, Alexander: *p.166*
Gerster-Rapho: *1.6*
Glauser, Philippe: *p.180 şi p.181*
Gruner, D.: *1.4*
Heuser: *5.12*
Hörbst, K.: *p.182, p.183*
Karcher, Joaquin: *p.164 , p.165*
Kaspruch,F.: *p.176, p. 177*
Lauber, Wolfgang: *1.9*
Lorenz-Ladener, C: *6.4*
Lukas, G.: *8.9, 8.10*
North, Graeme: *p.170 , p.171*
Nothhelfer, Michael: *p.172 , p.173*
Oliver, D.: *5.22, 5.23*
Pacific Adobe: *6.15*
Reynolds, M.: *14.4*
Schijns, W: *14.25*
Weiner, P.: *p. 162*
Weller, K.: *6,16, 6.17*
Wolf, S.: *5.27, 5.28*
Yazdani, S.: *1.5, 14.54, 14.55*

Toate celelalte imagini: Minke, Gernot

Lucrare publicată cu sprijinul
Ordinului Arhitecților din România - OAR
cu fonduri din taxa pentru Timbrul de Arhitectură

Consilier științific: arh. Raluca Munteanu, Grup Arhiterra
Editor: Rodica Ianăși
Traducere: Ligia Iuliana Jidiuc
Corectură: Ecaterina Ionescu
Grafică și DTP: Oana Bărleanu, Gianini Georgescu
Tipar: PRO Editura și Tipografie
Tiraj: 1000 exemplare

Copyright: Editura SIMETRIA
București, 2008
ISBN: 978-973-1872-05-6

ISBN 978-973-187-205-6